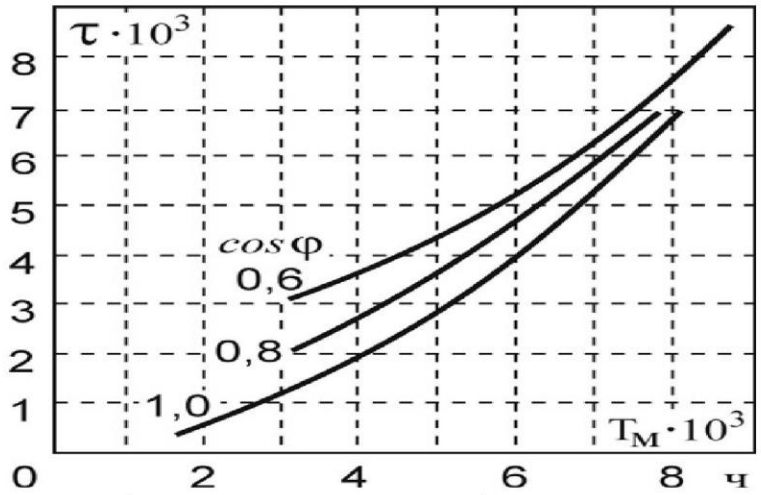
$$\Delta E = \Delta P_c \cdot Q_c \cdot t_c \qquad (5-50)$$

حيث إن : ΔP_c – الضياع النوعي في المكثفات وقيمته تتراوح بالمجـــال : – 0.003 0.004 Mw/Mvar، t_c – زمن عمل المكثفات ويؤخذ مساوياً بالمجـــال 7000 – 5000 hour .



الشكل (10.5) زمن الضياع الأعظمي كتابع لزمن الاستخدام الأعظمي للاستطاعة وعامل الاستطاعة في شبكة التغذية

ضياع القدرة في محولات القدرة ثنائية الملفات تتحدد بالعلاقة التالية :

$$\Delta E_{tr} = n_t \cdot \Delta P_{o.c} \cdot 8760 + \frac{\Delta P_{o.c}}{n_t} \cdot \frac{S^2_{\max}}{S^2_{n.t}} \cdot \tau \qquad (5-46)$$

أو من خلال العلاقة :

$$\Delta E_{tr} = n_t \cdot \Delta P_{o.c} \cdot 8760 + \frac{\Delta P_{o.c}}{n_t} \cdot \tau \qquad (5-47)$$

ضياع القدرة السنوي في محولات القدرة ثلاثية الملفات يتحدد من خلال العلاقة التالية:

(5-48)

$$\Delta E_{tr} = n_t \cdot \Delta P_{o.c} \cdot 8760 + \frac{\Delta P_{o.c}}{n_t} \cdot \frac{S^2_H}{S^2_{n.t}} \cdot \tau_H + \frac{\Delta P_{o.c}}{n_t} \cdot \frac{S^2_M}{S^2_{n.t}} \cdot \tau_M + \frac{\Delta P_{o.c}}{n_t} \cdot \frac{S^2_L}{S^2_{n.t}} \cdot \tau_L$$

أو من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta E_{tr} = n_t \cdot \Delta P_{o.c} \cdot 8760 + \frac{\Delta P_{o.c.H}}{n_t} \cdot \tau_H + \frac{\Delta P_{o.c.M}}{n_t} \cdot \tau_M + \frac{\Delta P_{o.c.L}}{n_t} \cdot \tau_L \qquad (5-49)$$

هنا الدليل L, M, H تمثل القم في جهة التوتر العالي والمتوسط والمنخفض .

ضياع القدرة في المكثفات الساكنة المستخدمة لتعويض الاستطاعة الردية يتحدد بالعلاقة التالية:

11- لدينا منشأتين تتلقيان التغذية الكهربائية من محطة تحويل من خلال خط كابلي توتر 10kv منفذ بنواقل من الألمنيوم وعازلية ورقية مقطع $95\ mm^2$ عند ذلك المنشأة الأولى ذات استطاعة 3.2+j0.9 MV.A مغذاة بكابل وحيد ، والمنشأة الثانية باستطاعة 4 MV.A ومغذاة من خلال كابلين متوضعين بالأرض بدرجة حرارة $+20C^o$ على مخارج المحطة تتوضع الكابلات الثلاث في قناة بمسافة فاصلة 100 mm . اختبر مقاطع الكابلات في شروط السخونة ؟.

5-11-حساب ضياع الطاقة الكهربائية في عناصر شبكة التغذية :

لأجل المقارنة الاقتصادية بين مترادفات متعددة لشبكة التغذية ينبغي تقييم الضياعات السنوية للطاقة في خطوط النقل ومحولات الطاقة ووسائل تعويض الاستطاعة الردية وغيرها من العناصر المكونة لشبكة التغذية . ضياعات القدرة الكهربائية في شبكة التغذية تؤثر بشكل ملموس على النفقات الاستثمارية، وكلفة نقل القدرة الكهربائية السنوية، ويمكن أن تتحدد من خلال طرق متعددة تتعلق بشكل جزئي أو كلي بالمعطيات الأولية لأنظمة عمل مستهلكي الطاقة، وطبيعة تغيرها في عناصر الشبكة الكهربائية .

عملياً عند تحديد ضياع القدرة وفق دراسة تصميمية واستثمارية مستقبلية لشبكة التغذية لا يمكن إجراؤها بدون وجود منحنيات الحمولة التي تقييم زمن الضياع الأعظمي τ الذي يسمح بتحديد الضياع الحراري (المتعلق بتيار الحمل) في عناصر الشبكة من خلال إيجاد التوزيع الأولي.

العلاقة العامة التي تحدد الضياع السنوي للقدرة في أفرع شبكة التغذية باعتبار أن المقاومة الفعلية لهذه الأفرع R تأخذ الشكل التالي :

$$\Delta E = \Delta P_{\max} \cdot \tau = 3I_{\max}^2 \cdot R \cdot \tau = \frac{S_{\max}^2}{U_n^2} \cdot R \cdot \tau \qquad (5\text{-}44)$$

حيث إن : $\Delta P_{\max}$ – الضياع الحراري للاستطاعة [Mw]، والذي يتوافق وحمولة مستجرة أعظمية $S_{\max}$.

قيم τ [hour/year] يمكن أن يتحدد من خلال المنحني البياني المبين بالشكل (10.5) كتابع لزمن استمرارية الحمولة الأعظمية، أو من خلال العلاقة التجريبية التالية :

$$\tau = \left(0.124 + \frac{T_{\max}}{10^4}\right)^2 \cdot 8760 \qquad (5\text{-}45)$$

6- حدد الاستطاعة الفعلية الحدية الممكن نقلها عند عامل استطاعة $\cos \varphi = 0.9$ ، في خط نقل 10kv ،وطول 10km . الخط منفذ بنواقل AC- 70/11 . ضياع التوتر ينبغي أن لاتتجاوز القيمة المسموحة التالية (6%) .

7- لتغذية منشأة صناعية اقترح استخدام كابلات أرضية NYY مقطع $120\ mm^2$ بتوتر 10kv . الكابلات مطمورة بالأرض بدرجة حرارة $25+\ C^o$ ومتجاورة بمسافة 100 mm . كم عدد الكابلات الواجب استخدامها بشروط التسخين ؟.

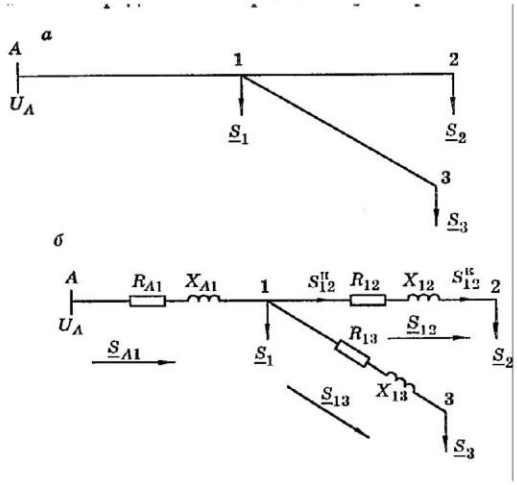
8- لدينا كابلين يعملان بتوتر 10kv . النواقل من النحاس والعازلية من الورق المشبع بالزيت ومقطع $95mm^2$ متوضعة بالأرض بدرجة حرارة $+20C^o$ والمسافة الفاصلة بينها 10cm . هل يمكن نقل استطاعة 5000KV.A وفق شرط السخونة عند أنظمة العمل الطبيعية وأنظمة مابعد العطل ؟.

9- كابلين توتر 380 v بمقطع $70\ mm^2$ وطول 80 m تتوضع في الأرض بدرجة حرارة $+20C^o$. قسم منها بطول 20m متوضعة في الهواء الطلق بدرجة حرارة $25+\ C^o$. حدد الاستطاعة الأعظمية الممكن نقلها وفق شرط السخونة في أنظمة العمل الطبيعية ونابعد العطل ؟.

10- اختر مقاطع نواقل أجزاء من شبكة محلية تعمل بتوتر 10kv وفق ضياع التوتر باعتبار الضياع المسموح يساوي $\Delta U_D = 6\%$ (انظر الشكل التالي) . قيمة الأحمال والأطوال تساوي :

$$I_1 = 20A\ , I_2 = 35A\ , I_3 = 25A \cdots \cos\varphi = 1;\ 0.91$$

$$l_{1-3} = 1km\ , l_{1-2} = 0.5km\ , l_{A-1} = 2km$$

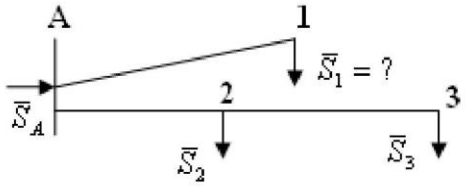


3- لأجل شبكة كهربائية توتر 35 kv مقدمة في الشكل التالي اختـــر مقطـــع نواقـــل الجزء A-1 عند المعطيات الأولية التالية :

$$\overline{S}_A = 12 + j4\ MV.A\ ,\overline{S}_2 = 4 + j1MV.A\ ,\overline{S}_3 = 3 + j1MV.A$$

$$T_{\max,A} = 4300h \quad ,T_{\max,2} = T_{\max,3} = 2800h$$

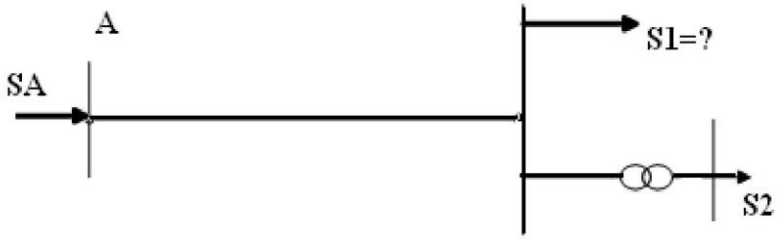
$$l_{A-1} = 13km \quad ,l_{A-2} = 8km \quad ,l_{2-3} = 10km$$



4- اختر مقطع نواقل خطوط نقل هوائية تعمل عند تـــوتر 10 kv وطـــول 6km (انظر الشكل التالي) عند الميزات التالية للأحمال :

$$S_1 = 600KV.A \cdots \cos\varphi = 0.9 \quad ,\overline{S}_2 = 500 + j200KV.A$$

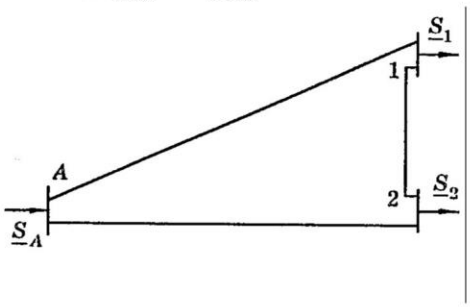
$$T_{\max,1} = 2900h\ ,T_{\max,2} = 5100h\ .$$

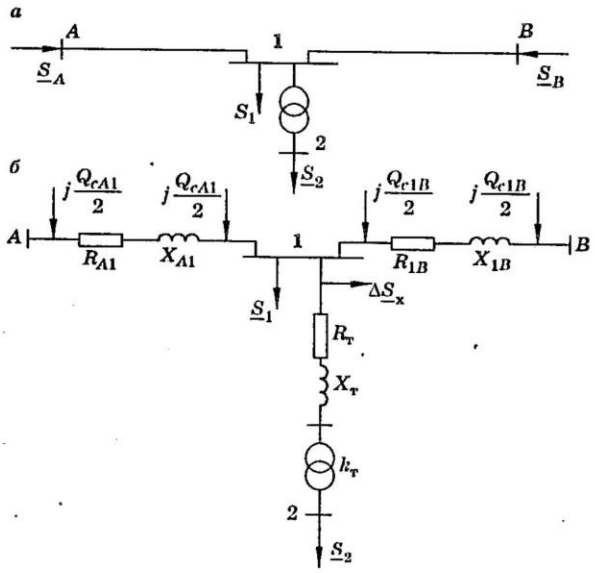


5- في الشبكة الحلقية المبينة بالشكل التالي والعاملة عند توتر 110kv اختر مقـــاطع نواقل جميع الخطوط . حمولة محطات التحويل وأطوال الخطوط تساوي :

$$l_{A-1} = 30km\ ,l_{A-2} = 20km, l_{1-2} = 15km\ P_2 = 25MW \cdots \cos\varphi = 0.93\ ,$$

$$\overline{S}_1 = 30 + j15MV.A \quad ,T_{\max,1} = T_{\max,2} = 3800h$$





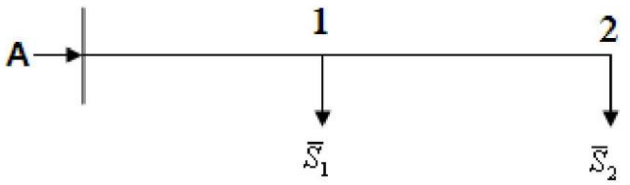
6- اختر المحولات في محطة تحويل 0.4 / 10 لتأمين الطاقة الكهربائية لمجمع صناعي بحمولة حسابية قدرها 250KV.A منسوب لحمولة الدرجة الأولى من حيث موثوقية التغذية . في نظام ما بعد العطل تم استخدام استطاعة احتياط 40 KV.A من محطة مجاورة بشبكة تعمل بتوتر 380 volt ؟.

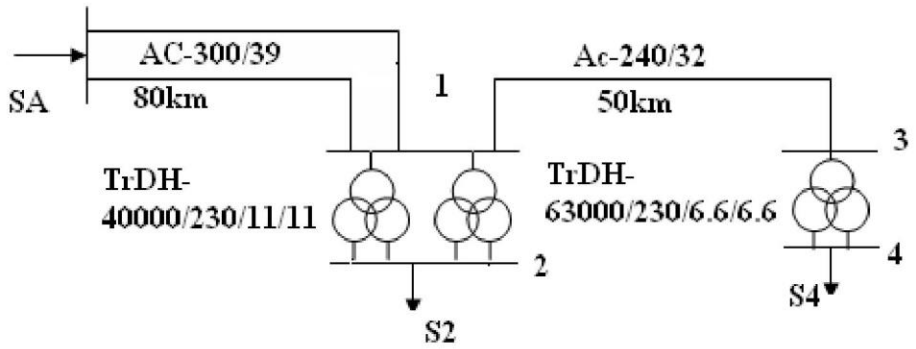
1- في الشكل المقدم (7.5) لدينا شبكة كهربائية تعمل بتوتر 110 kv يطلب اختيار مقطع النواقل باعتبار أن استطاعة الأحمال في عقد الشبكة تساوي :

$\overline{S}_1 = 20 + j12MV.A\ ,\overline{S}_2 = 15 + j6MV.A\ ,S_3 = 5MV.A\ \ldots \cos\varphi = 0.9$

أطوال الخطوط : $l_{1-3} = 12km\ ,l_{1-2} = 15km\ ,l_{A-1} = 25km$. زمن استخدام الحمولة الأعظمية لجميع الأحمال واحدة وتساوي 4800 h .

2-في الشبكة الكهربائية التالية العاملة بالتوتر 220 kv بحمولة S_1= , $S_2 = 60+j25$ 70+j30MV.A عند زمن استخدام حمولة أعظمية على التتالي 3100 و 5200h وأطوال $l_{1-2} = 40km\ ,l_{A-1} = 60km$. اختر مقطع النواقل ؟.





4- على الشكل (8.5 -a) تقدم شبكة مصممة بالمعطيات الأولية التالية : طول الخط 30km - A-1 ؛ 20km - 2-1 ؛ 25km - 3-2 ؛ 15km - A -3 . استطاعة الأحمال بالـــ Mwatt :

$$P_1 = 13\,;P_2 = 30\,;P_3 = 25\cdots\cos\varphi = 0.92$$

تبعاً لموثوقية التغذية الكهربائية تصنف أحمال العقد 2 و 3 لأحمال الدرجة الأولى ،والعقدة 3 لأحمال الدرجة الثالثة . اختر التوتر الاسمي للشبكة والمحولات في عقد الحمولة ؟.

5- لأجل الشبكة المصممة بالشكل التالي . اختر التوتر الاسمي والمحولات في محطات التحويل عند المعطيات الأولية التالية : طول الخط A -1 ، B-1 على التتالي 80 و 50km . استطاعة الحمولة المركبة تساوي :

$\overline{S}_1 = 40 + j25\,MV.A$ $\overline{S}_2 = 50 + j20\,MV.A$. حمولة العقدة رقم 2 تنتمي لأحمال الدرجة الأولى وفق موثوقية التغذية ؟.

نوجد القيم الحدية الاقتصادية للتيارات التي عندها يتم الانتقال من مقطع إلـــى مقطـــع آخر . لأجل هذا نساوي الكلفة المنقولة لأجل المقطع 11 /70 و 120/19 –Ac أي :

$$2.15+1.28\cdot10^{-4}\cdot I_{max}^2 = 2.31+0.74\cdot10^{-4}\cdot I_{max}^2$$

ومنه نستنتج I_{max} = 54.4 A نفس الشـــيء نطبـــق علـــى المقطعـــين 19/ 120 و 240/32 .

$$2.31+0.74\cdot10^{-4}\cdot I_{max}^2 = 2.77+0.36\cdot10^{-4}\cdot I_{max}^2$$

ومنه I_{max} = 110 A . وبالتالي عند حمولة حسابية I_{max} < 54.4 A المقطع المناسب 70/11 –Ac وعند :

I_{max} < 110 A – 54.4 < I_{max} – المقطع المناســـب 19 / 120 –AC ،وعنـــد I_{max} > 110 A – 240 /32 –AC .

5–10–مسائل للاختبار الذاتي

1– اختر محول قدرة يتغذى من شبكة تعمل بتوتر 10 kv لأحمال تعمل بتوتر 380 v وذات استطاعة حسابية تقدر بـــ 300 KV.A . الحمولة تبعاً لدرجة الموثوقية تصنف من الدرجة الثاني ؟.

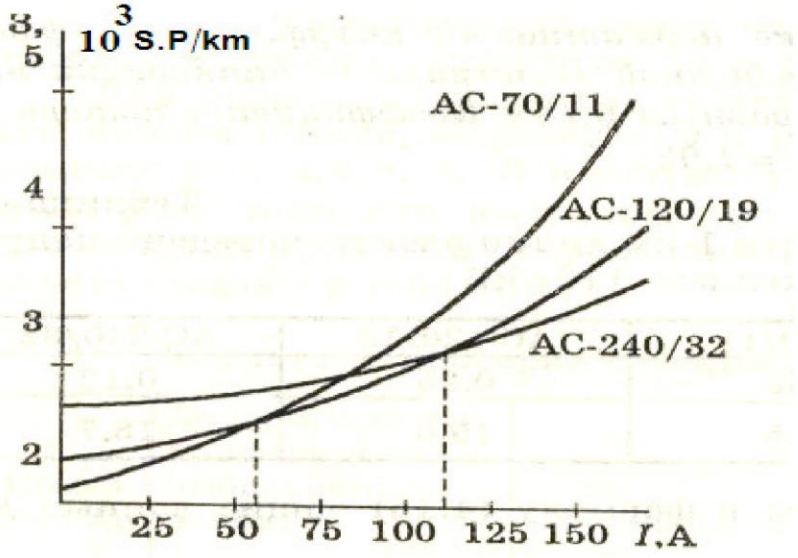
2– اختر المحول في محطة تحويل ترتبط بشبكات تعمل بالتوترات 6 , 110 , 220 kv . لتأمين طاقة كهربائية لحمولات درجة أولى وثانية باستطاعة 120 MV.A للشبكة 110 kv و 30 MV.A للشبكة 6 kv ؟.

3– لأجل الشبكة المقترحة وفق الشكل التالي من الضروري اختيار التوتر الاسمي للمعطيات التالية : للخط A–1 – 50km ؛ 1–2 – 40 km ؛ استطاعة الأحمال : $\overline{S}_2 = 60 + j20MV.A; S_4 = 25MV.A \ldots \cos\varphi_4 = 0.9$.

$$AC-70/11:\quad Z)_{70/11}=0.148\cdot 14.5+2.97\cdot 0.43\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2=$$
$$=2.15+1.28\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2$$
$$AC-120/19:\quad Z)_{120/19}=0.148\cdot 15.6+2.97\cdot 0.25\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2=$$
$$=2.31+0.74\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2$$
$$AC-240/32:\quad Z)_{240/32}=0.148\cdot 18.7+2.97\cdot 0.12\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2=$$
$$=2.77+0.36\cdot 10^{-4}\cdot I_{\max}^2$$

نعطي قيم مختلفة للتيارات ونوجد الكلفة المنقولة عندها لكل نوع من المقاطع ثم نرسم علاقة الكلفة كتابع لقيمة التيار كما هو مبين بالشكل (9.5) . الجدول التالي يبين لنا قـيم التيارات المختارة والكلفة عندها .

المقطع AC-،	الكلفة المنقولة 10^3 ل.س / km عند التيار I , A						
	0	25	50	75	100	125	150
70/11	2.15	2.23	2.47	2.87	3.43	4.15	5.03
120/19	2.31	2.36	2.5	2.73	3.05	3.47	3.98
240/32	2.77	2.79	2.86	2.97	3.13	3.33	3.58



الشكل (9.5) العلاقة بين الكلفة الكلية والتيار المسحوب للمستهلك عند مقاطع مختلفة.

من الجدول (5–6) نلاحظ أن التيارات السارية في أنظمة ما بعد العطل في الأجزاء 1 –0 ، 2 –0 لا تتجاوز القيم المسموحة بشروط التسخين . أمـا الجـزء 2–1 فالتيـار تتجاوز قيمته القيمة المسموحة . المقطع الأصغري الذي يحقق شرط السخونة هو المقطـع AC – 240/32 وتياره المسموح 605 A . لأجل اختبار مقطع النواقل بشرط السـخونة للجزء 3–2 . ينبغي دراسة نظام ما بعد العطل أي النظام الذي يوافق فصل إحدى الدارتين وبالتالي الاستطاعة السارية 30 j + 50 MV.A والتيار الموافق 306 A وهو أقـل مـن التيار المسموح (450 A) للمقطع AC – 150 /24 .

مثال (5–14) :

باستخدام علاقة الكلفة المنقولة لأجل 1km من خط هوائي والمعبـر عنهـا بالعلاقـة التالية :

$$Z = \rho_{\Sigma} \cdot k_o + 3I^2_{\max} \cdot r_o \cdot \tau \cdot \beta \cdot \varsigma \cdot 10^{-8} \; th.S.P/km \qquad (5\text{–}43)$$

ترسم المجالات الاقتصادية لتيارات الحمولة للخطوط الهوائية العاملة بتـوتر 110 kv لأجل مقاطع نظامية . الأسعار أخذت بالقيم المعتمدة عـام 1984 . سـعر 1 kw.h مـن القدرة الضائعة $\beta = 1.85$ ق.س / kw.h . كلفة إنشاء 1km والمقاومات النوعية معطاة بالجدول التالي . زمن الضياع الأعظمي τ = 5200 h .

الجدول(5–7)

ماركة النواقل	AC– 70/11	AC– 120/19	AC– 240/32
r_o ,Ohm/km	0.43	0.25	0.12
k_e , S.P10^3 /km	14.5	15.6	18.7

العامل ρ_{Σ} – يعبر عن الاقتطاعات من رأس المال لتحديث والاسـتثمار والصـيانة ويؤخذ بقيمة وسطية 0.148 . ثابت الضياع الناتج عن الكورونا ζ يساوي 1.03 .

الحل :

نعوض في العلاقة (5–43) المعبرة عن الكلفة القيم الكلية لأجل المقاطع المختارة :

$$Z = 0.148 \cdot k_o + 3I^2_{\max} \cdot r_o \cdot 5200 \cdot 1.85 \cdot 1.03 \cdot 10^{-8} =$$

$$= 0.148 k_o + 2.97 \cdot 10^{-4} \cdot I^2_{\max} \cdot r_o \quad th.S.P/km$$

باعتماد معطيات الجدول (5–7) k_e ، r_o لكل مقطع نحصل على :

$$T_{av} = \frac{\sum_{i=1}^{n} P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^{n} P_i} = \frac{80 \cdot 6000 + 40 \cdot 6000 + 50 \cdot 4000}{80 + 40 + 50} = 5412h$$

لأجل هذه القيمة فإن كثافة التيار الاقتصادية $J_e = 1\ A/mm^2$. وانطلاقاً من قيم التيارات في أجزاء الشبكة نحدد المقاطع الحسابية ومن ثم القيم النظامية كما يبينها الجدول التالي :

الجدول(5-5)

الجزء من الشبكة	0-1	1-2	0-2
I , A	429	66.7	635
المقطع الحسابي، mm^2	429	66.7	635
المقطع النظامي ، AC-	2×240/32	70/11	2×300/39

في الأجزاء 1-0 ، 2-0 المقاطع الحسابية كبيرة لهذا نستخدم خطوط مزدوجة الدارة أي الطور الواحد يحوي ناقلين أو ما يدعى بالخطوط المتشعبة .

- **لأجل** اختيار المقاطع المختارة وفق شرط السخونة نوجد سريان الاستطاعة في أنظمة مختلفة لنظام ما بعد العطل (الشكل 8.5-c - d - e) كما نوجد التيار الساري في كل جزء . التيارات المسموحة للمقاطع المختارة وفق طريقة كثافة التيار الاقتصادية ونتائج الحساب مدرجة في الجدول التالي.

الجدول(5-6)

رقم الجزء من الشبكة	قيمة التيار المسموح للمقاطع المختارة وفق كثافة التيار الاقتصادية A،	التيار في نظام العمل ، A			
		الطبيعي	ما بعد العطل بعد فصل		
			0 - 1	0 - 2	1-2
0 - 1	1210	429	-	1064	495
1 - 2	265	66.7	495	568	-
0 - 2	1420	635	1064	-	568

$$\overline{S}_{0-1}=\frac{S_1(l_{1-2}+l_{2-0})+S_2'\cdot l_{2-0}}{l_{0-1}+l_{1-2}+l_{2-0}}=\frac{(80+j50)90+(90+j60)50}{170}=68.8+j44MV.A$$

وبالتالي الاستطاعة السارية في الجزء 2−1 و الجزء 2−0 :

$$\overline{S}_{1-2}=\overline{S}_{0-1}-\overline{S}_1=(68.8+j44)-(80+j50)=-11.2-j6\ MV.A$$

$$\overline{S}_{0-2}=\overline{S}_{1-2}-S_2'=(-11.2-j6)-(90+j60)=-101.2-j66\ MV.A$$

نتائج الحساب مع الأخذ بالإعتبار اتجاه سريان الاستطاعة مدرجة على الشبكة في الشكل (8.5− b).

اختيار التوتر المناسب يتم بالعلاقة التالية :

$$U_{e.n}=\frac{100}{\sqrt{\frac{500}{l}+\frac{2500}{P}}}$$

لأجل دارة واحدة من الجزء 2−3 :

$$U_{e.n,3-2}=\frac{100}{\sqrt{\frac{500}{20}+\frac{2500}{25}}}=89.4\ KV$$

لأجل الأجزاء الباقية :

$$U_{e.n,1-2}=65.1\ KV\cdots U_{e.n,0-1}=112.2KV\cdots U_{e.n,0-2}=129.7\ KV$$

لأجل جميع أجزاء الشبكة نختار التوتر الاسمي $U_n = 110$ KV .

مقطع النواقل وفق كثافة التيار الاقتصادية : $F=\frac{I}{J_e}$

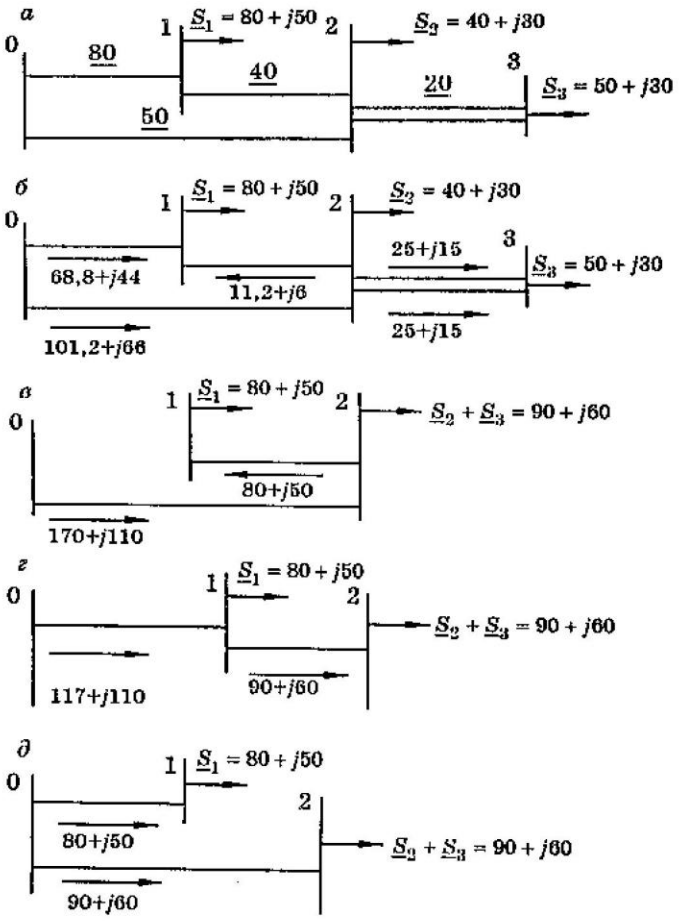
على سبيل المثال لأجل الجزء 2−3 عند $T_{2-3}=T_{\max 3}=4000h$ ومن الجدول (5−4) نجد أن $J_e = 1.1A/mm^2$ والتيار الساري في هذا الجزء يساوي :

$$I_{2-3}=\frac{S_{2-3}}{\sqrt{3}\cdot U_n}=\frac{\sqrt{25^2+15^2}}{\sqrt{3}\cdot 110}10^3=153\ A$$

وبالتالي المقطع :

$$F_{2-3}=\frac{153}{1.1}=139mm^2\quad\Rightarrow F=AC-150/24$$

لأجل الشبكة الحلقية 2−1−0 نحدد القيمة الوسطية للزمن T_{max} بالعلاقة :



الشكل (8.5)

الحل :

سريان الاستطاعة في أحد خطوط الجزء 3–2 :

$$\overline{S}_{2-3} = \frac{\overline{S}_3}{2} = \frac{50 + j30}{2} = 25 + j15\ MV.A$$

الاستطاعة عند العقدة 2 :

$$S'_2 = \overline{S}_2 + \overline{S}_3 = (50 + j30) + (40 + j30) = 90 + j60\ MV.A$$

الاستطاعة السارية في الجزء 1–0 يتحدد بالعلاقة :

$$m = \frac{I_P}{I_C} = \frac{123}{22.5} = 5.5 \cdots m = \frac{X}{X_c} = \frac{17.8}{1.91} = 9$$

نختار m = 9 عندئذٍ استطاعة المعوضات الطولانية :

$$Q_c = 3 \cdot Q_c \cdot m \cdot n = 3 \cdot 9 \cdot 9 \cdot 1 = 243\, k\,\text{var}$$

مثال (5-13) :

لدينا شبكة كهربائية مبينة بالشكل (8.5) . وفيها حمولة العقد بالـ MV.A ،وأطوال أجزاء الشبكة بالـ km . زمن استخدام الاستطاعة الأعظمية $T_{max1} = T_{max2} = 6000$ h و $T_{max3} = 4000$ h . عند الحساب تستخدم نواقل ألمنيوم – فولاذ . يطلب ما يلي :

1. حدد سريان الاستطاعة في أجزاء الشبكة بدون ضياع وذلك باعتبار أن الشبكة وحيدة المقطع ؛
2. اختر التوتر الاسمي لكل جزء من الشبكة وبعد ذلك اختر سوية واحدة للتوتر لجميع أفرع الشبكة ؛
3. حدد مقاطع النواقل في أجزاء الشبكة وفق طريقة كثافة التيار الاقتصادية ؛
4. اختر المقاطع المختارة وفق شرط السخونة في نظام ما بعد العطل عند فصل على التتالي 1-0 ؛ 2-0 ؛1-2 ؛ 3-2؛ (دارة واحدة)

وعند استخدام معوضات طولانية :

$$P_{\max} = \frac{\Delta U_D \cdot U_n}{R + X(1-k_c)tg\varphi}$$

حيث إن : k_c – درجة التعويض الطولاني وهي تحدد العلاقة بين الممانعة السعوية للمكثفات الساكنة إلى الممانعة التحريضية للخطوط : $k_c = \frac{X_c}{X}$

عند مقاطع النواقل المناسبة فإن المقاومة للجزء 1–0 تساوي :

$$R)_{95} = 0.34 \cdot 2 = 0.68\Omega \; ; X)_{95} = 0.358 \cdot 2 = 0.716\ \Omega$$

$$R)_{50} = 0.64 \cdot 2 = 1.28\Omega \; ; X)_{50} = 0.38 \cdot 2 = 0.76\ \Omega$$

عندئذٍ على أساس العلاقة المحددة لـ P_{max} يمكن صياغة العلاقة التالية :

$$P)_{95} = P)_{50} = \frac{\Delta U)_{95} \cdot U_n}{R)_{95} + X)_{95} \cdot tg\varphi} = \frac{\Delta U)_{50} \cdot U_n}{R)_{50} + X)_{50} \cdot (1-k_c)tg\varphi}$$

وبالتعويض نحصل على :

$$\frac{206.5 \cdot 10}{0.68 + 0.716 \cdot 0.75} = \frac{69.8 \cdot 10}{1.28 + 0.76(1-k_c)0.75}$$

$$\Rightarrow k_c = 2.51 \cdots \Rightarrow X_c = 2.51 \cdot 0.76 = 1.91\ \Omega$$

تيار المكثفات الساكنة يساوي التيار الفعلي للجزء 1–0 . I_p = 123 A .

التوتر على أطراف المكثفات :

$$U_c = I_P \cdot X_c = 123 \cdot 1.91 = 235\ V$$

نختار مكثفات بتوتر إسمي 400 V واستطاعة اسمية Q_c = 9 kvar .

عندئذٍ عدد المكثفات الموصولة على التسلسل :

$$n = 1(235 \prec 400V)$$

ممانعة المكثفات :

$$X_c = \frac{U_c^2}{Q_c} = \frac{400^2}{9000} = 17.8\Omega$$

$$\Rightarrow I_c = \frac{U_c}{X_c} = \frac{400}{17.8} = 22.5\ A$$

الآن نوجد عدد المكثفات الموصولة على التفرع :

$$F)_{\Delta U} = \frac{\sqrt{3}\sum_{i=1}^{n} I_i \cdot l_i \cdot \cos\varphi_i}{\gamma \cdot \Delta U_{a.D}} = \frac{\sqrt{3} \cdot 0.8(123 \cdot 2 + 65 \cdot 3 + 36 \cdot 5)}{32 \cdot 322} = 83\ mm^2$$

نختار مقطـــع A– 95 mm^2 ، وبارامتراتـــه تســـاوي $r_o = 0.34$, $x_o = 0.358$ Ohm / km . عندئذٍ نحدد ضياع التوتر المسموح عند المقطع المختار :

$$\Delta U_D = \sqrt{3}\sum_{i=1}^{n}(I_i \cdot r_o \cdot l_i \cdot \cos\varphi_i + I_i \cdot x_o \cdot l_i \cdot \sin\varphi_i)$$

$$= \sqrt{3}\begin{pmatrix} 123 \cdot 0.34 \cdot 2 \cdot 0.8 + 123 \cdot 0.385 \cdot 2 \cdot 0.6 + 65 \cdot 0.34 \cdot 3 \cdot 0.8 + \\ 65 \cdot 0.38 \cdot 3 \cdot 0.6 + 36 \cdot 0.34 \cdot 5 \cdot 0.8 + 36 \cdot 0.358 \cdot 5 \cdot 0.6 \end{pmatrix} = 522.5V \prec 550V$$

من هنا نلاحظ أن اختيار المقطع السابق يحقق شرط هبوط الجهد المسموح . فيما لـــو اخترنا المقطع A–50 المحدد وفق كثافة التيار الاقتصادية فضياع التوتر الحقيقي يســـاوي 794.2 V أكبر من القيمة المسموحة .

الآن سنناقش قضية المحافظة على المقطع المختار وفق كثافـــة التيـــار الاقتصـــادية والمحققة لهبوط الجهد المسموح وذلك باستخدام معوضات الاستطاعة الردية الطولانيـــة . بهدف زيادة سوية التوتر في أجزاء الشبكة تركب المعوضات الطولانية في الجزء 1– 0 :

بالنسبة للمقطع A– 50 ($r_o = 0.64$ Ohm/km , $x_o = 0.38$) , ضياع التـــوتر الفعلي على الجزء 3–2–1 يساوي : $\Delta U_{1-2-3} = 480V$ وبالتـــالي علـــى الجـــزء 1–0 يسمح: $\Delta U_{0-1.D} = 550 - 480.2 = 69.8V$

عند نواقل A– 95 فإن $\Delta U_{0-1,D} = 206.5V$. بهذا الشكل فإن تغيير مقطع النواقـــل إلى A–50 مع معوضات طولانية ينبغي تخفيض ضياع التوتر من 206.5 إلى 69.8 V

ضياع التوتر في الخطوط يمكن أن يعبر عنه بـــ :

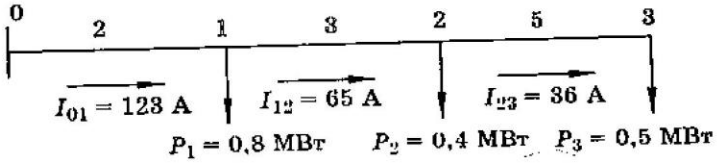
$$\Delta U = P\frac{R + X \cdot tg\varphi}{U_n}$$

من هنا عند قيمة معطاة لهبوط مسموح للتوتر يمكن إيجاد الاستطاعة الأعظمية المنقولة أي بشكل رياضي:

$$P_{\max} = \frac{\Delta U_D \cdot U_n}{R + tg\varphi}$$

الحل :

وفق العلاقة $I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi}$ نوجد التيارات السارية في أفـــرع الشـــبكة وهـــي مدرجة على الشكل (4-3)



الشكل (7.5)

انطلاقاً من T_{max} نحدد كثافة التيار الاقتصـــادية وتســـاوي $J_e = 1.3\ A / mm^2$ ، ونحدد العامل الذي يأخذ بعين الاعتبار عدم انتظام الحمولة على امتداد الشبكة ويساوي :

$$k = \sqrt{\frac{I_{o-1}^2 (l_{o-1} + l_{1-2} + l_{2-3})}{I_{o-1}^2 \cdot l_{o-1} + I_{1-2}^2 \cdot l_{1-2} + I_{2-3}^2}} = \sqrt{\frac{123^2 (2+3+5)}{123^2 \cdot 2 + 65^2 \cdot 3 + 36^2 \cdot 5}} = 1.75$$

كثافة التيار الاقتصادية مع الأخذ بالاعتبار عامل التصحيح :

$$J'_e = J_e \cdot k = 1.3 \cdot 1.75 = 2.27\ A/mm^2$$

في هذه الحالة المقطع يســـاوي : $F_e = \frac{I_{o-1}}{J'_e} = \frac{123}{2.27} = 54\ mm^2$ ، نختـــار مقطـــع نظامي $50\ mm^2$ - A .

نوجد ضياع التوتر المسموح بالفولت :

$$\Delta U_v = \frac{\Delta U_D \%}{100} U_n = \frac{5.5}{100} 10000 = 550V$$

باعتبار أن الممانعة الردية تؤثر بشكل قليل على مقاطع النواقل نعطيها قيمة وســـطية $x_o = 0.38$ Ohm/km عندها نحسب المركبة الردية لضياع التوتر :

$$\Delta U_r = \sqrt{3} \sum_{i=1}^{n} I_i \cdot x_o \cdot l_i \cdot \sin\varphi_i = \sqrt{3} \cdot 0.38 \cdot 0.6 (123 \cdot 2 + 65 \cdot 3 + 36 \cdot 5) = 228\ V$$

نوجد مقاطع النواقل الضرورية :

نفرض أن الممانعة الردية الواحدية للخط تساوي 0.06 Ohm/km عندئذٍ نوجد المركبة الردية لضياع التوتر :

$$\Delta U_r = \frac{x_o \sum Q_{i-l} \cdot l_{i-l}}{U_n} = \frac{0.06(62 \cdot 0.06 + 24.8 \cdot 0.04)}{0.38} = 0.75V$$

$$\Delta U_D = 4 \cdot \frac{380}{100} = 15.2\,V$$

من هنا نلاحظ أن ضياع التوتر قليل جداً .

نوجد المركبة الفعلية لضياع التوتر :

$$\Delta U_{a-D} = \Delta U_D - \Delta U_r = 15.2 - 0.75 = 14.45\,V$$

بعد ذلك نوجد مقطع الناقل الحامل في الكابل باستخدام العلاقة التالية :

$$F = \frac{\sum P_{i-l} \cdot l_{i-l}}{\gamma \cdot \Delta U_{a-D} \cdot U_n} = \frac{(100 \cdot 0.06 + 40 \cdot 0.04)}{32 \cdot 14.45 \cdot 0.38} 10^3 = 43.3\ mm^2$$

المقطع النظامي الأقرب للمقطع الحسابي هو $50\ mm^2$. لأجل هذا المقطع فإن البارامترات الأساسية تساوي $r_o = 0.62\Omega/km\,, x_o = 0.063\ \Omega/km$ ، انطلاقاً منها سنوجد ضياع التوتر الحقيقي في الكابلات المختارة وتساوي :

$$\Delta U = \frac{r_o \sum P_{i-l} \cdot l_{i-l} + x_o \sum Q_{i-l} \cdot l_{i-l}}{U_n} =$$

$$\frac{0.62(100 \cdot 0.06 + 40 \cdot 0.04) + 0.063(62 \cdot 0.06 + 24.8 \cdot 0.04)}{0.38} = 13.18\,V$$

نلاحظ أن ضياع التوتر الحقيقي أقل من القيمة المسموحة وبالتالي المقطع المختار مقبول .

مثال (5-12) :

لأجل الشبكة المقدمة على الشكل (5.7) حدد مقاطع النواقل وفق كثافة التيار الاقتصادية باعتبار أن ضياع التوتر المسموح واحد على جميع أجزاء الشبكة . الاستطاعة والأطوال مبينة على الشكل . التوتر الاسمي U_n = 10kv . زمن الاستخدام الأعظمي T_{max}= 2800 h . عامل الاستطاعة واحد للشبكة ويساوي 0.8 . ضياع التوتر المسموح ΔU_D = 5.5% .

نختار نواقل نموذج A– 16 وتيار مسموح $I_D = 105$ A ، ولأجل الخطوط الهوائية العاملة بتوتر حتى 1kv ووفق شرط المتانة الميكانيكية فإن المقطع الأصغري لايقل عن $16\ mm^2$.

نختبر المقطع وفق هبوط الجهد المسموح باعتبار أن هبوط الجهد المسموح يساوي $\Delta U_D = 4\%$. المقاومة النوعية الفعلية والردية للخط تساوي:

$r_o = 1.98\Omega/km\ ; x_o = 0.33\ \Omega/km$ ، وبالتالي هبوط الجهد الحقيقي يساوي :

$$\Delta U = \frac{(P_{\max}\cdot r_o + Q_{\max}\cdot x_o)l}{U_n} = \frac{(50\cdot 1.98 + 15\cdot 0.33)0.1}{0.38} = 27.3\ volt$$

وكنسبة مئوية يساوي :

$$\Delta U\% = \frac{27.3}{380}100 = 7.2\%$$

هذه القيمة تفوق القيمة المسموحة . في هذه الحالة نختار مقطع أكبر ونختار A – 35 ، ولأجله البارامترات تساوي : $r_o = 0.92$; $x_o = 0.31$ Ohm / km ، وبالتالي هبوط التوتر يساوي :

$$\Delta U = \frac{(50\cdot 0.92 + 15\cdot 0.31)0.1}{0.38}\cdot\frac{100}{380} = 3.5\%$$

هذه القيمة تحقق شرط هبوط الجهد المسموح والقيمة النهائية للمقطع A – 35 .

مثال (5–11):

جزء من شبكة تغذية توترها 380v يقترح تنفيذ النواقل بكابلات أرضية. أطوال الخطوط تساوي $L_{A-1} = 60$ m , $L_{A-2} = 40$ m . حمولات المستهلك , $P_2 = 40$ kw $P_1 = 60$ kw بعامل استطاعة وحيد ويساوي 0.85 . يطلب اختيار مقاطع الكابلات وفق هبوط الجهد المسموح والذي يساوي $\Delta U_D = +4\%$.

الحل :

كما بينا سابقاً عند اختيار مقاطع النواقل وفق ضياع التوتر المسموح لأجل شبكات التوزيع ووفق الشروط الإضافية نعتمد تساوي ضياع التوتر المسموح على امتداد الشبكة .

استطاعة الأحمال الردية تساوي :

$$Q_1 = P_1\cdot tg\varphi = 60\cdot 0.62 = 37.2k\ \text{var}\ , Q_2 = 24.8\ k\ \text{var}$$

الآن نحدد الاستطاعة السارية في أفرع الشبكة :

$$P_{1-2} = P_2 = 40kw\quad ; P_{A-1} = P_1 + P_2 = 60 + 40 = 100kw$$
$$Q_{1-2} = Q_2 = 24.8\quad ; Q_{A-1} = Q_1 + Q_2 = 37.2 + 24.8 = 62k\ \text{var}$$

وباعتبار أن كثافة التيار الاقتصادية $J_e = 1.2\ A/mm^2$ فإن المقطع الحسابي $F = 86.7 / 1.2 = 75.3 mm^2$ ومنه المقطع النظامي الأقرب $70\ mm^2$ . .

في حالة مابعد العطل (فصل أحد الكابلات) فإن التيار يساوي :

$$I_{a,f} = \frac{4500}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 130.1A$$

التيار المسموح للكابل المختار عند توضعه في الأرض بدرجة حرارة $t = 15\ C^o$ يساوي $I_D = 165\ A$ ،ومن خلال العلاقة (25- 5) نوجد التيار المسموح لأجل الشروط الحقيقية . في نظام ما بعد العطل أي عند عمل كابلين من ثلاثة نستخدم عامل تصحيح على عدد الكابلات العاملة $k = 0.9$ ، عامل تصحيح درجة الحرارة المحيطية انطلاقاً من شروط توضع الكابلات (درجة الحرارة القياسية لناقل الكابل $60\ C^o$ ، وللوسط الخارجي $15\ C^o$، والدرجة الحقيقية للوسط الخارجي $20\ C^o$) يساوي $k_t = 0.94$. السماحية خلال فترة إلغاء نظام مابعد العطل لزيادة التحميل للكابل المدروس عند عامل حمولة أولي0.6 (165 / 86.7) وزمن استمرارية 3h $k_{a.f} = 1.35$ ، وبالتالي :

$$I_D = I_D \cdot k \cdot k_t \cdot k_{af} = 165 \cdot 0.9 \cdot 0.94 \cdot 1.35 = 188.5\ A$$

الشرط (11-4) محقق أي (188.5 > 130.1) وبالتالي نختار المقطع بشكل نهائي $70\ mm^2$

مثال (5-10) :

لدينا مستهلك باستطاعة $S = 50+j15\ KV.A$ بزمن استخدام حمولة أعظمية 2600 h ، ويقترح تأمين الطاقة الكهربائية باستخدام خطوط هوائية تعمل بتوتر 380 v ، وطول 100 m . يطلب اختيار مقطع نواقل الخطوط ؟.

الحل :

لأجل الخطوط العاملة بتوتر 380 v تختار نواقل ألمنيوم . وكما جاء في المراجع أن الخطوط العاملة بتوترات حتى 1 kv عند $T_{max} = 4000 - 5000$ h مقاطعها لاتتحدد بكثافة التيار الاقتصادية وإنما بشروط التسخين وتصحيحه وفق هبوط الجهد المسموح ووفق المتانة الميكانيكية .

التيار المار في الخطوط يساوي :

$$I_{max} = \frac{|S_{max}|}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{\sqrt{50^2 + 15^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} 10^3 = 79.4\ A$$

$$I_{A-2} = \frac{\sqrt{85.45^2 + 35.15^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} 10^3 = 242.8A$$

$$I_{A-1} = \frac{\sqrt{4.55^2 + 4.85^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} 10^3 = 17.5A$$

باعتبار أن زمن استخدام الحمولة الأعظمية واحد ويساوي 3800 h نختار نواقل ألمنيوم – فولاذ وكثافة التيار الاقتصادية $J_e = 1.1\ A / mm^2$. نوجد المقاطع المناسبة الاقتصادية :

$$F_{A-1} = \frac{181.7}{1.1} = 165mm^2 ; F_{A-2} = \frac{242.8}{1.1} = 220.7mm^2 ; F_{1-2} = 15.9mm^2$$

المقاطع النظامية القريبة نأخذها على التتالي :

$$AC - 185\ mm^2\ ,\ 240\ mm^2\ ,\ 16\ mm^2$$

وفق شروط الكورونا أقل مقطع نظامي مسموح للتوتر 220 kv يساوي $240\ mm^2$ لهذا السبب نرفع المقطع الحسابي حتى هذا المقطع . نختبر المقاطع وفق شرط التسخين الاستمرار التيار المسموح . التيار المسموح للمقطع AC- 240 / 32 يساوي $I_D = 605$ A . أكثر التيارات التي تمر في الخطوط A–1 ؛ A–2 ؛ 1–2 في نظام ما بعد العطل عند فصل الخطوط A–1 , A–2:

$$I_{a.f} = I_{A-1} + I_{A-2} = 181.7 + 242.8 = 424.5A$$

وهذه القيمة أقل من المسموحة . لهذا السبب المقطع المختار النهائي لجميع أفرع الشبكة هو: AC–240/32

مثال (5–9) :

منشأة صناعية باستطاعة متوسطة تتلقى التغذية الكهربائية بثلاثة كابلات أرضية بتوتر 10 kv ومتباعدة عن بعضها البعض مسافة 100 mm بدرجة حرارة محيطية $20\ C^o$ + . الحمولة تساوي 4500 KV.A بزمن استمرارية الحمولة الأعظمية $T_{max} = 5200$ h . يطلب اختيار مقطع الكابلات المغذية .

الحل :

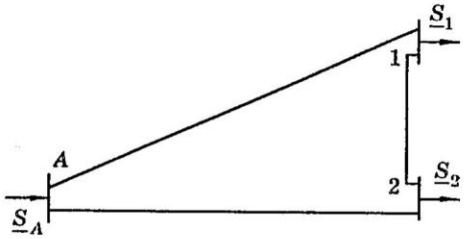
في البداية نحسب تيار العمل الطبيعي :

$$I_{max} = \frac{S_{max}}{3 \cdot \sqrt{3} U_n} = \frac{4500}{3 \cdot \sqrt{3} \cdot 10} = 86.7A$$

من المسموح (330 > 184) وهكذا نجد أن المقطع المختار 16/ 95 – AC مناسب لنواقل الخط المغذي للشبكة الصناعية .

مثال (5-8) :

لدينا عقدتي حمولة تتغذى من شبكة حلقية تعمل بتوتر اسمي 220 kv والمبينة بالشكل (6.5) استطاعة الحمولة تشكل $S_{max.1}$= 60 +j 20 MV.A , $S_{max.2}$ = 90 + j 40 MV.A . أطوال الخطوط L1-2 = 40 km , LA-2 = 55km , L_{A-1} =70 km . زمن استخدام الحمولة الأعظمية لكلا الحملين تشكل 3800 h . يطلب اختيار مقاطع النواقل ؟.



الشكل(6.5) شبكة تغذية حلقية

نفرض أن الشبكة ذات طبيعة واحدة (مقطع واحد) ، وبالتالي باستخدام العلاقة التالية نوجد توزع الاستطاعة في أجزاء الشبكة بشكل تقريبي عند نظام العمل الطبيعي :

$$\overline{S}_A = \frac{\sum \overline{S}_{p.i} \cdot L_{i-B}}{L_{A-B}} \quad ; \overline{S}_B = \frac{\sum \overline{S}_{p.i} \cdot L_{i-A}}{L_{A-B}} \ldots U_A = U_B$$

$$\overline{S}_{A-1} = \frac{(60+j20)(55+40)+(90+j40)55}{70+55+40} = 64.55 + j24.85\ MV.A$$

$$\overline{S}_{A-2} = \frac{(90+j40)(70+40)+(60+j20)70}{70+55+40} = 85.45 + j35.15\ MV.A$$

الاستطاعة السارية في الفرع 2 – 1 :

$$S = 4.55 + j\ 4.85 MV.A$$

نحدد التيارات السارية في أفرع الشبكة انطلاقاً من الاستطاعة السارية فيها :

$$I_{A-1} = \frac{|S_{A-1}|}{\sqrt{3}U_n} = \frac{\sqrt{64.5^2 + 24.85^2}}{\sqrt{3} \cdot 220} 10^3 = 181.7A$$

$$\frac{S_{\max}}{S_t} \le k_{a.f}$$

عامل زيادة الحمولة في حالة العطل يساوي $k_{a.f} = 1.62$ (جدول ملحق 5-3) :

$$\frac{200}{100} \succ 1.62$$

أي الشرط غير محقق .

عوضاً عن المحول المختار نختار محول نموذج Tr – 160 / 10 نجد أن الشرط (42–5) محقق وبالتالي لأجل هذا المحول :

$$\frac{200}{160} \prec 1.64$$

مثال (5–7) :

لدينا منشأة صناعية بحمولة أعظمية S_{max} = 35 MV.A .يقترح تأمين الطاقة الكهربائية بخط هوائي مزدوج الدارة بتوتر 110 kv . زمن الاستخدام للحمولة الأعظمية Tmax = 4200 h . يطلب اختيار مقطع نواقل الخط ؟.

الحل :

تستخدم نواقل ألمنيوم – فولاذ ومقطعها يتحدد بطريقة كثافة التيار الاقتصادية في نظام العمل الطبيعي وذلك عند عمل الدارتين .

$$I_{\max} = \frac{S_{\max}}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{35 \cdot 10^3}{2\sqrt{3} \cdot 110} = 92A$$

من الجدول (5–4) نحدد كثافة التيار الاقتصادية وتساوي Je = 1.1 A / mm2 ، وبالتالي المقطع يساوي

$$F = \frac{92}{1.1} = 84\ mm^2$$

هذا المقطع حسابي والمقطع النظامي الأقرب له هو AC – 95 / 16 نلاحظ أن هذا المقطع يتفق وشرط الانفراغ الكوروني حيث المقطع الأصغري المسموح وفق شرط الكورونا لايقل عن 70 mm^2 بالنسبة للتوتر 110 kv . نختبر هذا المقطع وفق شرط السخونة . التيار المسموح للمقطع المختار وفق الجدول (ملحق 5–2) يساوي I_P = 330 A أي في نظام العمل الطبيعي التيار المار أقل من المسموح أي $I_P \prec I_D$. وفي نظام ما بعد العطل أي في حالة فصل إحدى دارات الخط فإن التيار المار يتضاعف ولكن يبقى أقل

المحول الذي يتم اختياره ينبغي اختباره في نظام العمل الطبيعي وفق ثابت حمولة النظام المسموح k_c، وكذلك الأمر في نظام مابعد العطل وفق ثابت زيادة التحميل k_{af} وفق المتراجحة التالية:

$$\frac{S_{\max}}{n_t \cdot S_t} \le k_c \qquad (5-41)$$

$$\frac{S_{\max}}{S_t} \le k_{af} \qquad (5-42)$$

مثال (5-6):

من محطة تحويل فرعية 10 / 0.4 تتلقى منشأة صناعية طاقة كهربائية باستطاعة 200 KV.A . يطلب تحديد استطاعة محولات محطة التحويل .

الحل :

المنشأة تنتمي إلى حمولات الدرجة الأولى لهذا يركب في المحطة محولين . استطاعة المحول تختار وفق العلاقة (5-32) . لأجل طبيعة الحملة المقدمة فالاستطاعة الحسابية عند نظام العمل الطبيعي:

$$S_{\max} / 2 = 200 / 2 = 100 KV, A$$

هذه الاستطاعة تقع في حدود قطاعات الحمولة الاقتصادية 86 ÷ 115 KV.A . نختبر المحول وفق الحمولة المسموحة في نظام العمل الطبيعي وفق شروط العلاقة (41-5) :

$$\frac{S_{\max}}{n \cdot S_t} \le k_c$$

عامل التحميل النظامي المسموح : $k_c = 1.5$ وفق الجدول (ملحق 5-3) .

$$\frac{200}{2 \cdot 63} \succ 1.5$$

أي أن الشرط غير محقق . لهذا سنعتمد محول آخر نموذج Tr – 100 /10 ونجرب ثانية المتراجحة السابقة فنجد

$$\frac{200}{2 \cdot 100} \prec 1.5$$

وهنا المتراجحة محققة. نختبر المحول وفق تحميله في نظام ما بعد العطل باستخدام الشرط (5-42)

كذلك يمكن اختيار استطاعة المحولات في محطات التحويل بشكل آخر ، فعند وجود محول واحد فإن الاستطاعة تحسب من العلاقة التالية :

$$S_n \geq \frac{P_{\max}}{\cos\varphi} \qquad (5\text{-}36)$$

حيث إن :

$P_{\max}$ – محصلة الاستطاعة الفعلية لمحطة التحويل خلال الخمس سنوات القادمة ؛

$\cos\Psi$ – عامل استطاعة الحمل .

إذا كان عدد المحولات $n > 1$ فإن استطاعة كل محول تحسب بالعلاقة التالية:

$$S_n \geq \frac{P_{\max} \cdot K_{1-2}}{K_{ab}(n-1)\cos\varphi} \qquad (5\text{-}37)$$

حيث إن :

p_{max} – محصلة الاستطاعة الفعلية لمحطة التحويل خلال الفترة الزمنية المحددة بـ 5 سنوات ؛

K_{1-2} – عامل يحسب اشتراك أحمال الدرجة الأولى والثانية .

K_{ab} – عامل احتمال حدوث العطل في المحول .

عند وجود محولتين تصبح العلاقة (3-40) كما يلي :

$$S_n = 0.65 - 0.7S_{\max} \qquad (5\text{-}38)$$

يمكن حساب الاستطاعة الاسمية للمحول الموجود في مركز توزيع يغذي أحمال من الدرجة الأولى والثانية انطلاقاً من العلاقة التي تأخذ بعين الاعتبار الحمولة الزائدة المسموحة لكل محول والتي تأخذ الشكل التالي :

$$S_t \geq S_{\max} /(1.3-1.4) \qquad (5\text{-}39)$$

لأجل المحول المغذي لأحمال من الدرجة الثالثة يتم حساب استطاعته انطلاقاً من المتراجحة التالية :

$$S_t \geq S_{\max} \qquad (5\text{-}40)$$

الجدير ذكره أن الاستطاعة الناتجة باستخدام العلاقات السابقة هي استطاعة حسابية يتم تقريبها إلى أقرب استطاعة نظامية في جهة ملف توتر العالي .

$$S_{nT} = S_{pas.t}(1+\frac{5-V_{EX}}{100}) \qquad (5-34)$$

حيث إن :

S_{nT} – الاستطاعة الاسمية للمحول .

S_{past} – الاستطاعة الاسمية للمحول حسب الكاتالوك من أجل درجة حرارة متوسطة خلال السنة قدرها $V_{EX} = +5$ ودرجة حرارة للوسط المحيط $V_E = 35^{\circ}$

إذا زادت درجة حرارة الوسط المحيط عن 25° مئوية فإن الاستطاعة الاسمية للمحول تنقص بمقدار 1 % لكل زيادة في درجة الحرارة V قدرها 1 درجة مئوية .

تختلف قدرة المحول على تحمل الحمولة الزائدة حسب الفترة الزمنية التي سيستمرها هذا التحميل الزائد , فهي تتحمل 200 % من استطاعتها الاسمية في غضون 1.5 دقيقة و 160 % من حمولتها إذا استمرت 40 دقيقة – وإذا كانت الحمولة الطبيعية للمحول لا تتجاوز 93 % من الحمولة الاسمية فيمكن زيادة تحميلها إلى 140 % خلال خمسة أيام على أن لا تستمر هذه الحمولة أكثر من ست ساعات في اليوم .كما يجب استخدامه في جميع وسائل التبريد القسري .

ويمكن تحديد التحميل الزائد المسموح به للمحول بالمعادلة :

$$S_{DT} = S_{pas.T}(1-K_L)0.3,[KVA]$$

حيث إن :

S_{DT} – الحمولة المسموح بها للمحول في فترة الذروة التي تزيد عن الاستطاعة الاسمية وذلك على حساب عدم امتلاء منحني الحمل في ساعات اليوم الأخرى .

$K_L = \frac{S_{av}}{S_{\max}}$ –عامل امتلاء منحني الحمل وهي يساوي نسبة الاستطاعة الوسطى إلى الاستطاعة الأعظمية خلال اليوم .

بالإضافة إلى ذلك فإنه يمكن زيادة الحمولة على المحول شتاءً وذلك على حساب انخفاض هذه الحمولة صيفاً ، ويزداد عمر المحول على حساب نقصان درجة حرارة معدن الملفات مع الحمولات الصيفية لذلك يسمح بزيادة الحمولة في وقت الشتاء بـــ 1% لكل 1% من نقصانها في الصيف ولكن على أن لا تزيد هذه الزيادة عن 15 % ويمكن جمع هاتين الزيادتين لكن التحميل الزائد الحاصل يجب أن لا يزيد عن 30 % أو :

$$S_{D.T}\sum \leq 1.3S_{pas.T} \qquad (5-35)$$

بتغطية حمل الأول أيضاً أثر وصل القاطع الآلي بينهما . علماً أنــه يــتم إدخــال التغذيــة الاحتياطية بالخدمة بالنسبة لحمولات الدرجة الأولى آلياً .

يؤمن لمستهلكي الدرجة الثانية احتياط معين يتم إدخاله في الخدمة آلياً أو يدوياً . عنــد التغذية من مصدر واحد لا بد من وجود محولين أو محول واحد علــى ان يكــون هنــاك محول احتياطي في المستودع من أجل عدة مراكز تحويل تغذي مستهلكي الدرجة الثانيــة .علماً أن عملية استبدال المحول تتم في غضون بضع ساعات ، كما أنه يمكن خلال عملية الاستبدال تقييد حمولة الاستهلاك إلى درجة مناسبة لاستطاعة المحول الشــغال مــع أخــذ قابليته للتحميل بعين الاعتبار .

يمكن لمستهلكي الدرجة الثالثة تلقي التغذية الكهربائية من مركز للتحويل ذو محول واحد عند توفر محولة إضافية في المستودع .

قد تكون زيادة الحمولة على المحول في حالتين :

1- أثناء العطل ؛ 2- أثناء العمل الطبيعي .

وتختلف زيادة التحميل المسموحة حسب الزمن الذي سيستمر خلاله زيادة الحمل ودرجة حرارة الوسط الخارجي وشكل منحني الحمل الطبيعي للمحول وكذلك شروط تبريد المحول وغيره .

الاستطاعة المركبة الكلية للمحول ينبغي أن تحقق الشرط التالي :

$$S_t \geq \frac{P_{\max}}{n_t} \qquad (5-32)$$

$$S_t \geq \frac{P_{av}}{k_{af}\left(n_t + n_0\right)} \qquad (5-33)$$

حيث إن:

P_{max}- الحمولة الأعظمية لمحطة التحويل عند نظام العمل الطبيعي.

P_{af}- حمولة محطة التحويل في نظام مابعد العطل وتساوي : $P_{af}= P_{max}-P_{res}$.

P_{res}- الاستطاعة الاحتياطية في محطة التحويل.

n_o- عدد المحولات المفصولة.

k_{af}- العامل المسموح لزيادة تحميل المحول في نظام ما بعد العطل.

كما يمكن حساب الاستطاعة الاسمية للمحول بالعلاقة التالية :

بواسطة محول واحد فقط على أن تتم التغذية الاحتياطية من مركز تحويل مجاور أو من محطة ديزل خاصة .

عند اختيار عدد المحولات لا بد من الأخذ بعين الاعتبار أن إنشاء مركز تحويل بمحول واحد لا يؤمن دائماً تكاليف سنوية أقل فإذا كانت شروط تامين استطاعة احتياطية تتطلب وضع أكثر من محول واحد من الضروري الانتباه إلى أن عدد المحولات يجب أن لا يزيد عن 2 .

إن مراكز التحويل ذات المحولين أفضل من الناحية الاقتصادية من مراكز التحويل ذات المحول الواحد أو ذات العدد الأكبر من المحولات .عند إنشاء مراكز للتحويل ذات المحولين يفضل دائماً تحقيق أكثر أشكال الاتصال بساطة من طرف التوتر العالي ، إن استعمال دارات الاتصال البسيطة بحيث يكون عدد قواطع التوتر العالي أقل ما يمكن مرغوب بشكل خاص عندما يكون ثمن القاطع من طرف التوتر العالي مقارباً لقيمة المحول.

إن جميع الحلول الأخرى (مراكز تحويل ذات ثلاث محولات أو أكثر) تكون عادة مكلفة أكثر . إلا أنها قد تكون ضرورية في الحالات التي نضطر فيها إلى تغذية المستهلكين بتوترات مختلفة .

عند تصميم مراكز التحويل لا بد من أخذ ضرورة تامين الاحتياط بعين الاعتبار وذلك انطلاقاً من المفاهيم التالية :

يتم تغذية مستهلك من الدرجة الأولى من منبعين مستقلين تماماً . في هذه الحالة يتم تامين الاحتياط اللازم لجميع المستهلكين . عند تغذية مستهلك الدرجة الأولى من مركز تحويل واحد ولتأمين موثوقية التغذية لا بد من وجود كحد أدنى محول واحد لكل جزء من قضبان التجميع . عند ذلك نختار استطاعة المحولات بحيث أنه لدى خروج أحد المحولات من الخدمة فإن المحول الثاني يستطيع تغطية حمولات الدرجة الأولى .

لا بد من الإشارة إلى أنه بالنسبة لمراكز التحويل ضمن المنشآت الصناعية ذات المحولين ينصح بإبقاء أجزاء قضبان التجميع ذات التوتر المنخفض بشكل مستقل عن بعضها إذ إن هذا الإجراء يقلل من تيار الدارة القصيرة إلى النصف تقريباً وبذلك يسهل عمل الأجهزة الكهربائية دون 1000 فولت ، وعند فصل أحد المحولين يقوم المحول الثاني

5-9- *اختيار محولات القدرة :*

يتمتع الاختيار العلمي الصحيح للمحولات في محطات التحويل بأهمية اقتصادية وطنية كبيرة . ومن المهم جداً عند اختيار المحولات واستطاعتها (في المنشآت الصناعية) أخذ موثوقية التغذية بعين الاعتبار وذلك على حساب وضع محولين في كل مركز (وقد يكون الثاني في نظام العمل الطبيعي موصول أو مفصول) ويجب الانتباه هنا إلى أن أحد المحولين الباقيين يستطيع أن يؤمن الاستطاعة الكلية المطلوبة . ويمكن تغطية الاستطاعة المطلوبة ليس فقط على حساب استعمال الاستطاعة الاسمية للمحولات وإنما على حساب مقدرتها لتحمل المحولات الزائدة كذلك (وذلك بهدف إنقاص الاستطاعة الاسمية للمحول).

والاستطاعة الاسمية للمحولات هي تلك التي تستطيع أن يعمل عندها المحول بشكل مستمر خلال فترة خدمته (حوالي 20 سنة) وذلك عند شروط درجة الحرارة النظامية ومن أجل شروط التبريد الطبيعية .

إن اختيار استطاعة المحولات يجب أن يؤمن في حالة العمل الطبيعي تغذية جميع المستهلكين كما أنه عند اختيار استطاعة المحولات يجب التوصل إلى تأمين نظام العمل الاقتصادي المناسب وكذلك تأمين التغذية الاحتياطية لأجهزة الاستهلاك عند فصل أحد المحولات علماً أن حمولة المحول في الظروف الطبيعية يجب أن لا تسبب حسب السخونة إنقاص العمر الطبيعي لها . إن استطاعة المحول يجب أن يؤمن الاستطاعة اللازمة في نظام العمل بعد فصل المحول المعطل وذلك حسب المتطلبات المترتبة عن نوع المستهلك .

من المعروف أن المحولات في محطات التحويل تنمو من سنة إلى أخرى . لذلك من المفيد لحظ إمكانية زيادة استطاعة محطة التحويل عن طريق استبدال المحولات بأخرى أكبر أي تلحظ إمكانية وضع محول أكبر بدرجة واحدة .

مثلاً إذا تم تركيب محولين 6300 ك . ف .أ فإن الأساسات والأبعاد يجب أن تلحظ وضع محولين كل منهما باستطاعة 1000 ك.ف .أ دون إجراء أية تعديلات في المركز .

يعتمد اختيار عدد المحولات على نظام عمل المحطة أو مركز التحويل . فقد يتطلب منحني الحمل وضع محولين حسب الشروط وبناء على حساب الكلفة السنوية .

في المنشآت الصناعية يفضل إنشاء مراكز التحويل الرئيسية باستعمال محولين على الأكثر . ومن أجل المستهلكين من الدرجة الثانية والثالثة يمكن دراسة احتمال التغذية

نحسب مقطع نواقل الشبكة :

$$F_{A-G} = \frac{10^3 \sum P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U_a \cdot U_n} =$$

$$= \frac{10^3 (15 \cdot 50 + 33 \cdot 75 + 73 \cdot 100)}{32 \cdot 10.25 \cdot 380} = 84.5 mm^2$$

نأخذ أقرب مقطع نظـامي لناقل الألمنيوم وهو $F = 95mm^2$ ومن الجداول نوجد بـارا مترات هذا المقطع وهي : $x_o = 0.3$ Ohm/km , $r_o = 0.34$ Ohm/km .

نحسب الآن ضياع التوتر الحقيقي :

$$\Delta U\,\%_{A-G} = \frac{10^5}{U_n^2} \cdot \left(r_o \cdot \sum P \cdot l + x_o \cdot \sum Q \cdot l\right) =$$

$$= \frac{10^5}{380^2}\left[0.34(15 \cdot 0.05 + 33 \cdot 0.075 + 73 \cdot 0.1) + 0.3\begin{pmatrix}15.3 \cdot 005 + \\ 26.64 \cdot 0.075 + 67.44 \cdot 0.1\end{pmatrix}\right] =$$

$$4.3\% \prec 5\%$$

أو :
$$\Delta U_{A-G} = \frac{4.3 \cdot 380}{100} = 16.3v$$

نجرب المقطع المختار على السخونة ، باعتبار أن أكبر تيار يمر في الجزء A–B :

$$I_{A-B} = \frac{10^3 \sqrt{73^2 + 67.44^2}}{\sqrt{3} \cdot 380} = 151A$$

التيار المسموح الموافق للمقطع $95mm^2$ يساوي : $I_d = 325A$ أي أن المقطع المختار يحقق شرط السخونة $I_{A-B} < I_d$.

في الحالة التي نهمل بها الممانعة الردية ، فإن مقطع الناقل للخط A-G :

$$F = \frac{10^5 \sum P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U\,\% \cdot U_n^2} =$$

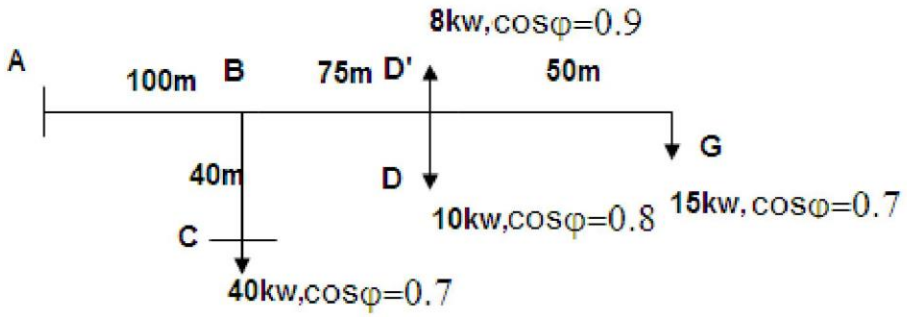
$$= \frac{10^5}{32 \cdot 5 \cdot 380^2}(15 \cdot 50 + 33 \cdot 75 + 73 \cdot 100) = 46 mm^2$$

نعتمد أقرب مقطع نظامي لناقل الألمنيوم $F = 50mm^2$. التيار الذي يسمح بتمريـــره هذا المقطع يساوي $I_d = 215$ A وهذه القيمة اكبر من التيار الأعظمي I_{A-B} .

من الحسابات يتضح لدينا أن إهمال الممانعة التحريضية أدت إلى خفض مقطع الناقـــل من قيمة $95\ mm^2$ إلى قيمة $50\ mm^2$.

مثال (5-5) :

يطلب تحديد مقطع شبكة تغذية ثلاثية الطور ، نواقلها مصنوعة من الألمنيوم وذلك باعتبار أن المقطع ثابت على امتداد الشبكة .ضياع التوتر المسموح به : $\Delta U\% = 5\%$ ، الممانعة التحريضية غير مهملة وباقي معطيات الحل مبينة على الشكل (5.5).



الشكل (5.5) شبكة تغذية

الحل :

نوجد ضياع التوتر المسموح به : $\Delta U = 5 \cdot 380/100 = 19V$.

نعطي قيمة وسطية للممانعة التحريضية : $x_o = 0.35$ Ohm/km ، بعده نحسب القسم الردي لضياع التوتر في أفرع الشبكة :

$$q_1 = p_1 \cdot tg\varphi_1 = 40 \cdot 1.02 = 40.8k \text{ var};$$
$$q_2 = p_2 \cdot tg\varphi_2 = 10 \cdot 0.75 = 7.5k \text{ var}$$
$$q_3 = p_3 \cdot tg\varphi_3 = 8 \cdot 0.48 = 3.84k \text{ var}$$
$$q_4 = p_4 \cdot tg\varphi_4 = 15 \cdot 1.02 = 15.3k \text{ var}$$

نوجد القسم الردي لضياع التوتر على الجزء A- G وفق العلاقة التالية :

$$\Delta U_{r(A-G)} = x_o \frac{10^3 \cdot \sum Q \cdot l}{U_n} =$$

$$= 0.35 \frac{10^3 (15.3 \cdot 0.05 + 26.64 \cdot 0.075 + 67.44 \cdot 0.1)}{380} = 8.75v$$

القسم الفعلي لضياع التوتر يحسب كما يلي :

$$\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r = 19 - 8.75 = 10.25v$$

والقسم الردي بالعلاقة : $\Delta U_r = x_o \frac{\sum Q \cdot l}{U_n}$ ،

ومنه نحصل على ضياع التوتر:

$$\Delta U = r_o \frac{10^3 \cdot \sum P \cdot l}{U_n} + x_o \frac{10^3 \cdot \sum Q \cdot l}{U_n} = \Delta U_a + \Delta U_r$$

لاتتغير الممانعة التحريضية للخط كثيراً عند تغير المقطع، فلأجل الخط الهوائي فـــإن الممانعة التحريضية تتأرجح ضمن المجال 0.36 ÷ 0.46 أوم / كم وللكابلات ذات التوتر من 6 ÷10 kv تتغير من 0.06 ÷ 0.09 أوم /كم .

تعطينا هذه الظروف إمكانية كبيرة لاختيار مقاطع النواقل و بدون أية صعوبة .في بداية الحساب تعطى قيمة وسطية للممانعة التحريضية $x_o = 0.35 - 0.4 Ohm/km$ ، وبعدها نحدد القسم الردي لضياع التوتر من خلال العلاقة : $\Delta U_r = x_o \frac{\sum Q \cdot l}{U_n}$ عندئذ يمكننا حساب الضياع الفعلي للتوتر : $\Delta U_a = \Delta U - \Delta U_r$ ومن خلال العلاقة المحددة لضياع التوتر الفعلي وبتعويض قيمة المقاومة الفعلية بما تساويه من خلال العلاقة : $r_o = \frac{1}{\gamma \cdot F}$ نحصل على معادلة مقاطع النواقل التالية :

$$F = \frac{10^3 \sum P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U_a \cdot U_n} \qquad (5\text{-}30)$$

يدور المقطع الناتج إلى القيم الاسمية الأقرب ، وبعد ذلك نوجد ضياع التوتر باستخدام القيمة الحقيقية للمقاومة الفعلية والقيمة الحقيقية للممانعة الردية . إذا كان ضياع التوتر أكبر بكثير من القيمة المسموحة عندئذٍ ينبغي زيادة المقطع وإعادة الحساب مرة أخرى . بعد التأكد من أن ضياع التوتر لا يتجاوز القيمة المسموحة و المحددة وفق النظم المعمول بها ينبغي تجريب المقطع وفق شروط السخونة أي بحيث التيار الأعظمي لا يتجاوز القيمة المسموح بها المقابلة للمقطع المختار .

في الحالة التي نهمل فيها الممانعة التحريضية للخط عندها يمكن استخدام العلاقة التالية لتحديد المقطع :

$$F = \frac{10^5 \sum P \cdot l}{\gamma \cdot \Delta U\% \cdot U_n^2} \qquad (5 - 31)$$

وفي حالة العطل :

$$V_{aB} = \frac{295^2}{392^2}(70-35)+35 = 54.8C^{\circ}$$

مثال (5-4) :

اختر مقطع الناقل لأجل وصل محرك كهربائي لمخرطة تعمل بشكل متقطع استطاعتها العظمى P = 200 kw ، توتر الشبكة U_n= 380v، عامل الاستطاعة $\cos\varphi = 0.85$ يجب وضع الناقل في ورشة حيث درجة الحرارة +25 درجة° ، زمن عمل المحرك 3 دقائق وزمن عمله لدورة كاملة 9 دقائق .

الحل :

نحسب تيار حمل المحرك :

$$I = \frac{200\cdot 10^3}{0.85\sqrt{3}\cdot 380} = 356,[A]$$

استمرارية العمل بالوحدات النسبية :

$$B = \frac{3}{9} = 0.33$$

تيار الحمل المنسوب إلى نظام العمل المتواصل حسب العلاقة (28-5)

$$I_{P.DI} = 356\cdot\frac{\sqrt{0.33}}{0.875} = 234,[A]$$

من الجداول نختار ناقل مقطعه 95مم^2 يسمح بتمرير 255 أمبير .

5 – 8 – حساب مقاطع النواقل وفق ضياع التوتر المسموح به:

يتم اختيار مقاطع النواقل بدلالة ضياع التوتر المسموح بـه فـي الخطـوط الهوائيـة والكابلات العاملة في الشبكات الكهربائية ذات التوتر الأقل من 1kv بـدون الأخـذ بعـين الاعتبار الممانعة التحريضية .

أما بالنسبة للحالة التي تدخل فيها الممانعة التحريضية بالحسـاب ،فـيمكن اسـتخدام الطريقة التالية:

من المعروف أن ضياع التوتر في شبكة ثلاثية الطور مع ثبات المقطع علـى امتـداد الخط يمكن تجزئته إلى جزئين قسم فعلي و آخر ردي .القسم الفعلي يعطى بالعلاقة التالية :

$$\Delta U_a = r_o\frac{\sum P\cdot l}{U_n} \quad ،$$

$$n = \frac{I_{\max}}{I_D} = \frac{2060}{253} = 8$$

نجرب على السخونة ، هل يمكن وضع هذه الكابلات في القناة إذا كان التيار المسموح به في الكابل عند درجة حرارة تربة 15 درجة يساوي 355 أمبير .

ونظراً لأن درجة حرارة التربة +10 درجة والمسافة بين الكابلات 100 مم لذلك فإن التيار الذي تسمح مجموعة الكابلات بتمريره :

$$I_D = 355 \cdot 8 \cdot 1.06 \cdot 0.75 = 2360,[A]$$

نختبر المقطع للكابل مع المقطع الذي يمكن الحصول عليه بطريقة كثافة التيار الاقتصادية عندما T_m=5200 h :

$$F_E = \frac{2060}{1.2} = 1720m^2$$

وهذا لا يزيد عن مقطع الكابل المختار لذلك :

$$8 \cdot 240 = 1920mm^2$$

إذن في النهاية نختار ثمان كابلات (8 x (3 x 240 mm^2)

مثال (5-3) :

اختبر بالسخونة النواقل المختارة لأجل خط هوائي ثنائي توتره 35 ك . ف واحسب درجة حرارة الناقل عند الحمل الطبيعي وعند العطل ، مع الأخذ بالاعتبار أن متوسط درجة الحرارة الشهرية للهواء في الساعة 13° وفي أكثر الشهور حرارة 25 درجة مئوية في حالة العطل (عندما لا يعمل أحد الخطوط) يساوي التيار 295 أمبير أما في الحالة الطبيعية فيساوي إلى $\frac{295}{2} = 147A$ ، التيار المسوح به للناقل المختار AC-150 عند درجة حرارة الوسط المحيط +25 يساوي إلى 455 أمبير أما عند درجة حرارة 35 فنحسب التيار المسوح به من العلاقة (5-25) :

$$I_{D35} = 445\sqrt{\frac{70-35}{70-25}} = 392A$$

وهذا أكبر من التيار الحسابي في الحالة الطبيعية وحالة العطل .

نحسب درجة حرارة الناقل في الحالة الطبيعية وحالة العطل من العلاقة (5-26):

$$V_{nor} = \frac{147^2}{392^2}(70-35) + 35 = 39.9C^{\circ}$$

تصلح العلاقة (28–5) لأجل $T_c = 10\ min$ و $t_B < 4\ min$ ولأجل مقاطع من النحاس أكبر من 6مم^2 – وألمنيوم أكبر من 10 مم^2 .

إذا كانت استمرارية العمل أكبر من 4 دقائق والفترة الزمنية بين أوقات التشغيل قليلة ، لا يسمح باستخدام المعادلة (28–5) ويسمح عندها باستخدام العلاقات كما لو كان عمل المنشأة مستمراً .

في مثل هذه الحالة فإن شروط حساب الشبكة بالسخونة يعبر عنه بالمعادلة :

$$I_{DL} < I_D$$

حيث إن :

I_{DL} – تيار الحمل المتواصل ، A ؛

I_D – التيار النهائي المسموح به للناقل ، A .

مثال (5–2) :

اختر مقطع الكابلات اللازمة وعددها لوصل مولد ثلاثي الأطوار استطاعته الاسمية $P_n = 30Mw$ عند عامل استطاعة $\cos\varphi = 0.8$ ، توتره $U_n = 10.5\ kv$. وزمن استخدام الحمل الأعظمي $T_{max}=5200\ h$. الكابلات سوف تتوضع في قناة بيتونية عند درجة حرارة الهواء + 30 درجة ، ودرجة حرارة التربة الوسطية ضمن المحطة + 10 درجةْ .

الحل :

نحسب التيار الأعظمي للمولد :

$$I_{max} = \frac{30 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10.5 \cdot 0.8} = 2060A$$

إن استخدام كابل واحد غير ممكن لذلك نضع مجموعة من الكابلات ثلاثية الأطوار 3x240mm2 التيار الذي يسمح هذا الكابل بتمريره عندما يكون متوضعاً ضمن القناة وعند درجة حرارة الوسط المحيط +35 درجة يساوي إلى 270 أمبير . ولكن درجة الحرارة المعطاة 30 درجة لذلك يجب استخدام عوامل تصحيح تؤخذ من الجداول :

التيار الذي يسمح الكابل بتمريره بعد إدخال عامل تصحيح :

$$I_D = 270 \cdot 0.93 = 253\ A$$

عدد الكابلات اللازمة :

لا تستخدم المعادلة (5-24) للحسابات العملية وذلك لصعوبة إيجاد المعطيات وخاصة للكابلات والنواقل المعزولة .

باستخدام العلاقات (5-23) و(5-24) يمكن إيجاد علاقة لحساب القيمة النهائية لتيار الحمل على الناقل ولأجل أية درجة حرارة :

$$I = I_D \sqrt{\frac{V' - V_0'}{V_D - V_0}} \qquad (5-26)$$

حيث إن :

$V_0' - V'$ - شروط حرارية جديدة معطية لأجل التيار .

من العلاقة (5-25) واضح أنه عند انخفاض درجة حرارة الوسط المحيط أو ارتفاع درجة الحرارة فإن الحمل المسموح به يزداد .

تستخدم هذه الحالة في الشتاء حيث الحمل الأعظمي على الشبكة الكهربائية أعظمي وحسب تيار الحمل المعطي يمكن إيجاد درجة حرارة الناقل من العلاقة (5-25) كما يلي:

$$V' = \left(I / I_D \right)^2 (V_D - V_0) + V_0' \qquad (5-27)$$

نبدل في العلاقات (5-25) و (5-26) $r_0 = \rho / F$ ونقسم أحدهما على الآخر نحصل على علاقة جديدة لحساب الأحمال عند تبدل قطر ومقطع الناقل :

$$I' = I_D \sqrt{(d'/d)(F'/F)}$$

وبالنسبة للنواقل المصنوعة من الألمنيوم – فولاذ فإن :

$$I' = I_D \sqrt{(d'/d)(F'a/Fa)} \approx I_D \sqrt{d'/d} \qquad (5-28)$$

عندما تعمل المنشأة بشكل متقطع – متكرر نستطيع تبديل التيار المتقطع I_{kp} بالتيار المتواصل المنسوب $I_{BP.DL}$ والذي يحسب بالمعادلة :

$$I_{BO.DL} = \frac{\sqrt{\Pi B}}{0.875} \qquad (5-29)$$

حيث إن :

ΠB : استمرارية عمل المنشأة (الوحدات النسبية) وتساوي إلى T_b/T_C ؛

Tb : زمن عمل المنشأة ؛ T_C : زمن استمرارية عمل المنشأة حتى تقوم بعمل كامل (دورة كاملة) .

3- عند مد شبكات مؤقتة لفترة زمنية مؤقتة 3-5 سنوات ؛

4- خطوط النقل 330 كيلو فولت وأعلى ذات التوترات المستمرة والمتناوبة وخطوط ارتباط النظم والأحمال الصناعية الكبيرة جداً . في هذه الحالة فإن المقاطع يجب أن تختار بالطريقة الاقتصادية المفضلة.

7-5 حساب مقطع النواقل وفق شرط السخونة:

لإيجاد القيمة النهائية لمسموح بها للتيار الناقل بالسخونة نحسب كمية الحرارة الخارجية في واحدة الزمن في ذلك الناقل :

$$P = I^2 R$$

وكمية الحرارة المنتقلة إلى الوسط الخارجي في واحدة الزمن :

$$P' = C.S\ (\ V - V_0)$$

حيث إن :

C - عامل لحساب نفوذ الحرارة إلى الوسط الخارجي بطريقة الانتقال الحراري ويقدر بـــ $W/cm^2 \cdot c^o$ ؛

S سطح مقطع الناقل ، cm^2 ؛ P ، P' : واحدتهما (Watt) .

بعد فترة زمنية يحصل توازن بدرجات الحرارة بين الناقل والوسط المحيط وعندها تكون كمية الحرارة المعطاة إلى الوسط الخارجي مساوية إلى كمية الحرارة التي ينتجها الناقل أي أن P' = P ومنه :

$$I^2 .R = C.\ S(\ V - V0\ )\ ,$$

$$I = \sqrt{\frac{CS}{R}(V - V_0)}$$

نبدل قيمة S بقيمتها $S = \pi \cdot d \cdot L$ و $R = r_o \cdot L$ نحصل على :

$$I = \sqrt{\frac{\pi \cdot c. \cdot d}{r_0}(V - V_0)} \qquad (5\text{-}24)$$

ومن خلال معرفة درجة الحرارة المسموحة للناقل V_o ، يمكن إيجاد التيار المسموح به وفق شرط السخونة لذلك الناقل :

$$I_D = \sqrt{\frac{\pi \cdot c. \cdot d}{r_0}(V - V_0)} \qquad (5\text{-}25)$$

إذا كانت الأحمال الموصولة إلى الخط على مسافات غير كبيرة الواحد من الآخر فإنه يفضل أن يكون للخط ككل مقطع واحد .في هذه الحالة من الممكن جعل الناقل بمقطع مشترك على طول الخط ويختار المقطع الاقتصادي من تيار الجزء الذي يحمل أكبر قيمة وفي هذه الحالة يمكن إدخال عامل تصحيح على كثافة التيار الاقتصادية وهذا العامل أكبر من الواحد وهو يعبر عدم تساوي الحمل على طول الخط ، في هذه الحالة نحسب كثافة التيار الاقتصادية المكافئة كما يلي :

$$j_{Ee} = J_E \cdot k_P$$

حيث إن :

J_E ـ كثافة التيار الاقتصادية لخط ذو حمل واحد في نهايته وزمن استمرارية استخدام حمل أعظمي $T=T_{max}$ ؛

K_p ـ عامل تصحيح يعتمد على مربع قيمة الحمل في كل جزء من الخط وعلى طول ذلك الجزء ويجب أن يكون:

$$Kp = \sqrt{\frac{I^2{}_1 L}{i_1 l_1 + i_2 l_2 + \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots + i_n i_n}}$$

حيث إن :

$i_1, i_2 \ldots\ldots\ldots\ldots i_n$– التيارات في الأجزاء المختلفة من الخط ؛

$l_1, l_2 \ldots\ldots\ldots\ldots l_n$– أطوال الأجزاء ؛

L – طول الخط الكلي .

إذا كانت مساحة مقطع الناقل المختارة تحقق شروط السخونة ولا تحقق هبوط التوتر المسموح به . عند ذلك من الضروري إعادة النظر بالقيمة الأعلى للمقطع من أجل ضمان هبوط التوتر المسوح به ، أو يجب استخدام وسائل من أجل تعويض هبوط التوتر في الخط باستخدام مكثفات طولانية ، أو وضع محولات منظمة للتوتر .

لا تستخدم كثافة التيار الاقتصادية لإيجاد المقطع في الحالات التالية :

1 – التغذية الصناعية ذات التوترات حتى 1000 فولت ، إذا كان استمرار استخدام الحمل الأعظمي لا يزيد عن 4000 – 5000 ساعة ؛

2– التفريعات الخاصة بالأحمال ذات التوتر لغاية 1000 فولت وكذلك شبكات الإنارة ؛

الحمل بالتساوي وبالتالي يحسب مقطع الناقل على أساس كثافة التيار الاقتصادية لنصف الحمل فقط.

أما في حالة فصل أحد الخطوط بسبب عطل طارئ فإن الناقل الثاني سيقوم بنقل الحمل بالكامل ولكن ليس لفترة زمنية طويلة ولذا فإن تحديد المقطع الاقتصادي غير ضروري ، ويجب اختيار النواقل المختارة على السخونة بالنسبة للحمل الأعظمي أثناء العطل وعادة يقرب النظامي المختار بالمعادلة (21-5) إلى المقطع النظامي .

إذا كان حمل المستهلك يحصل في وقت الليل فإنه ينصح بزيادة كثافة التيار الاقتصادية المدونة في الجدول (5-4) إلى 40 % كما أنه بالنسبة للنواقل 16 مم2 وأقل تُزاد كثافة التيار الاقتصادية إلى 40 %

إن الحمل لا يصل إلى القيمة الحسابية له مباشرة بل يبلغ ذلك بعد عدة سنوات ، وبعد ذلك لا يتوقف بل يستمر بالارتفاع . ولذا يختار المقطع الاقتصادي للنواقل على أساس الحمل الحسابي المتوقع في السنة الخامسة مع عامل تصحيح α يبين تغير قيمة التيار ويحسب العامل α من العلاقة التالية :

$$\alpha = \sqrt{0.15 + 0.25(i_1 + 0.8)^2 + 0.85 \cdot (i_{\max} + 0.1)^2} \qquad (5\text{-}23)$$

حيث إن :

$i_1 = \frac{I_1}{I_5}$ – التيار الحسابي للسنة الأولى لاستثمار الخط منسوباً إلى تيار السنة الخامسة ؛

$i_{\max} = \frac{I_{\max}}{I_5}$ – التيار الحسابي الأعظمي بعد السنة الخامسة منسوباً إلى السنة الخامسة .

عند تحديد مقطع الكابل الاقتصادي ينصح أولاً باستخدام كابل واحد إذا كانت مساحة المقطع أقل من 150 مم^2 ولا نحتاج إلى كابلين للتغذية . أما في حالة وجود مساحة أكبر فبغض النظر عن ضرورة وجود الاحتياطي فإنه يرغب باستخدام عدة كابلات نحاسية مقطع كل منها 150 مم^2 بحيث يكون مجموع مقاطعهم يقابل الحالة الاقتصادية . فمثلاً إذا تبين إن المقطع الاقتصادي هو F_E=470mm^2 من الأفضل اختيار ثلاثة كابلات كل منهم 150 مم^2 وليس كابلان بمقطع 240مم^2 لكل منهم .

تختار مقاطع النواقل بكثافة التيار الاقتصادية للتوترات حتى 220 kv أما فيما يخص اختيار المقاطع بالنسبة للتوترات 330 kv وما فوق فتستخدم طريقة المقارنة على أساس الحسابات الفنية – الاقتصادية و ذلك من خلال معادلة الكلفة المنقولة لعدة خيارات .

يبين الجدول (5-4) قيم كثافة التيار الاقتصادية بالاعتماد على زمن استمرارية استخدام الحمل الأعظمي .

الجدول (5-4) الكثافة الاقتصادية للتيار .

نوع الناقل	زمن استمرارية استخدام الحمل الأعظمي (ساعة) T_{max} .		
	3000-1000	5000-3000	8760-5000
نواقل عادية			
من النحاس	2.5	2.1	1.8
من الألمنيوم	1.5	1.1	1
كابلات ذات عوازل ورقية وذات عوازل pvc أو مطاط للنواقل			
النحاسية	3	2.5	2
ألمنيوم	1.6	1.4	1.2
الكابلات ذات العوازل البلاستيكية			
نحاسية	3.5	3.1	2.7
ألمنيوم	1.9	1.7	1.6

يلاحظ من الجدول (5-4) أنه كلما كان زمن استمرار الحمل الأعظمي أكبر كانت كثافة التيار الاقتصادية أقل .

إن قيمة تيار الحمل الأعظمي I_{max} في الخط يجب أن تؤخذ من أجل حالات العمل الطبيعي للشبكة ، أي من أجل الحالات التي تعمل فيها الشبكة لفترة زمنية طويلة أما إمكانية زيادة الحمل في زمن العطل أو الإصلاح لا يؤخذ في الحسبان عند تحديد مقطع الناقل الاقتصادي ، فمثلاً عند تصميم خطين من أجل تغذية حمل معين يتقاسم الخطين

a – القسم الثابت من قيمة الخطوط ، لا يتعلق بالمقطع وهي مصاريف للدراسة والبحث ، والتصميم ، وبناء طرق خطوط الاتصالات وغيرها وتقدر بـــ وحدة نقدية / كم؛

b – عامل غلاء ، يأخذ بالاعتبار تبدل تكاليف إنشاء / 1 / كم من الخط ويتعلق بالمقطع ، ويقدر بـــ وحدة نقدية (كم × مم^2) .

و قيمة الطاقة الكهربائية الضائعة في / 1 / كم المحددة بالمعادلة التالية :

$$C = 3I_{\max}^2 (\rho / F) \cdot \tau \, \beta \cdot 10^{-3} \qquad (5\text{-}20)$$

حيث إن :

I_{max} ـ تيار الخط الأعظمي في حالة نظام العمل الطبيعي ؛

ρ – المقاومة النوعية لمعدن الناقل ، أوم . مم^2 / كم ؛

τ – زمن الضياع الأعظمي ، ساعة ؛

β – السعر النوعي لضياع الطاقة الكهربائية ، وحدة نقدية / (كيلوات ساعي) .

من المعادلات (2-3) و(3-4) تحسب المصاريف النسبية لأجل 1كم من الخط كما يلي :

$$Z = (E_H + P)(a + bF) + 3I_{\max}^2 (\rho / F)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}. \qquad (5\text{-}21)$$

حيث إن :

ρ – عامل اقتطاع ، للإصلاح ، ولخدمة الخطوط وتبديل الأجزاء المستهلكة ؛

E_H – عامل يساوي إلى 0.125 .

عند ذلك تصبح المصاريف النسبية الأصغرية ، كما يلي :

$$\frac{\partial Z}{\partial F} = (E_H + P)b - 3I^2 \left(\rho / F^2\right)\tau \cdot \beta \cdot 10^{-3} = 0$$

ومن هنا تساوي كثافة التيار الاقتصادية :

$$J_{EC} = I / F_{EC} = \sqrt{(E_H + P) \cdot b / 3\rho \cdot \tau \cdot \beta \cdot 10^{-3}} \qquad (5\text{-}22)$$

تختلف قيمة كثافة التيار الاقتصادية حسب عدد ساعات الحمل الأعظمي وكذلك حسب المناطق الجغرافية وأنواع النواقل .

من الجدول (5-3) نجد أن الاستطاعة العظمى التي يمكن نقلها بواسطة خط توتره 110 ك . ف هي 150 ميغا وات إذا كان طول الخط 30 كم .فإذا نقصت الاستطاعة المنقولة إلى 30 ميغا وات فإنه يمكن زيادة طول الخط إلى 200 كم.

الجدول(5-3) التوتر الاسمي كتابع للاستطاعة الأعظمية والطول الأعظمي

التوتر الاسمي , Un [kv]	الاستطاعة العظمى Pmax,[Mw]	الطول لأعظمي L ,[km]
35	30	3
110	150	30
150	250	60
220	500	120
330	1000	350
500	2000	1000

ملاحظة : بنتيجة المعادلات التجريبية يمكن الحصول على توتر اسمي غير نظامي يتم تقريبه إلى اقرب توتر نظامي، وفي بعض الحالات يؤخذ التوتر الاسمي الأعلى من القيمة الحسابية وذلك لتغطية الزيادة المستقبلية في الطلب على الطاقة الكهربائية .

5-6-اختيار مقاطع النواقل في شبكة التغذية للمنشآت الصناعية :

إن تحديد قيمة التيار الحسابي تعتبر الخطوة الأساسية في تحديد مقطع الناقل لشبكة التغذية، وهنا سنميز بين الشبكات العاملة بتوتر أكبر من 1Kv، وشبكات تعمل أقل من 1Kv . بالنسبة للشبكات العاملة بتوتر أكبر من 1Kv تستخدم طريقة كثافة التيار الاقتصادية ، وهذه الطريقة تسمح بتحديدالمقطع الاقتصادي، وهو المقطع الذي يطابق القيمة الصغرى للمصاريف النسبية.

تحسب كثافة التيار الاقتصادية بشكل تقريبي من علاقة كلفة إنشاء 1 كم من خطوط الشبكات الكهربائية بالمقطع :

$$K = a + bF \qquad (5-19)$$

حيث إن :

K – المبلغ (رأس المال) المحجوز ؛

$$U_n = \sqrt{P(Kw)0.1 + 0.015\sqrt{L(km)}},[kv] \qquad (5-17)$$

وذلك من اجل L > 1000 km

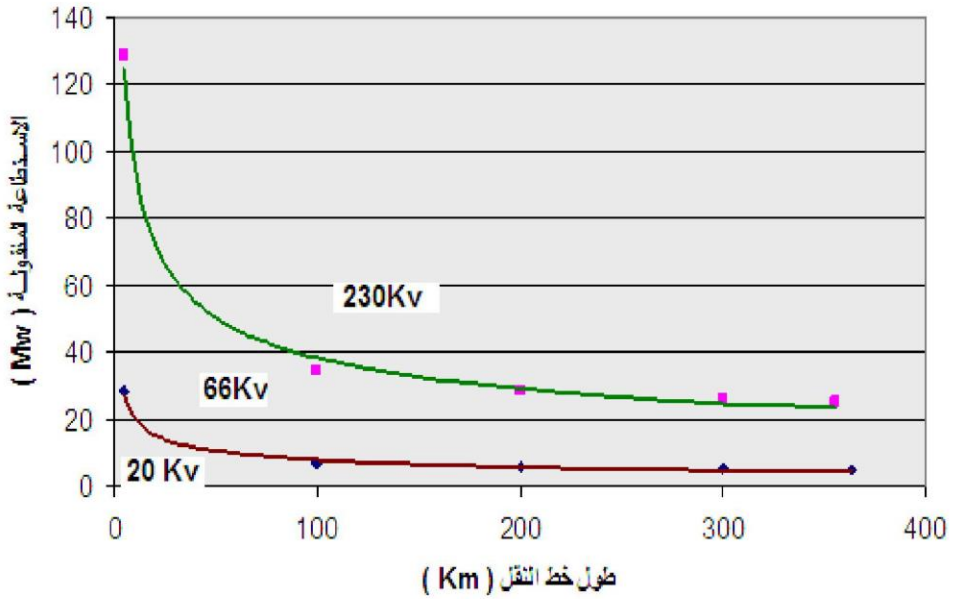
ج – معادلة ايلارنوفا : هذه المعادلة تصلح لجميع الحالات و تأخذ الشكل التالي :

$$U_n = \frac{1000}{\sqrt{500/l + 2500/P}},[kv] \qquad (5-18)$$

في هذه العلاقة الاستطاعة تعطى بالـــ Mw

العلاقات السابقة تحدد التوتر الاسمي للشبكة بشكل تقريبي ، ولكن لا بد من إجراء الحساب الاقتصادي بالنسبة لعدة قيم للتوتر بعدها يختار منها الحل الاقتصادي .

تدل الخبرة في هذا المجال على أنه يمكن اختيار التوتر الاسمي للشبكة بناءً على المنحنيات البيانية الموضحة على الشكل (4.5)[1] ومن الجدول (5–3) وهذه المعطيات تخص حالة نقل الطاقة بواسطة خط أحادي الدارة.



الشكل (4. 5) المناطق الاقتصادية للتوترات الاسمية

وبالتالي يقل عمر المحرك . الحسابات العملية بينت أن عمل المحرك لفترة طويلة عند التحميل الكامل بانحراف في التوتر قدره –10% يؤدي إلى انقاص عمر المحرك إلى النصف. في المنشآت الصناعية ذات الأحمال الصغيرة يمكن أن تغذى بتوتر 400 V أو بالتوتر 660 V وذلك انطلاقاً من التجهيزات المركبة، وهذا التوتر يتميز بمزايا بالمقارنة مع التوتر 400 V منها :

- ضياع منخفض في القدرة، وذلك باعتبار أن ضياع القدرة يتناسب عكساً مع مربع التوتر.
- كلفة أقل في استخدام النواقل، حيث يوافق زيادة في التوتر انخفاض في التيار، وبالتالي انخفاض في مقطع النواقل المستخدمة.
- إمكانية استخدام معدات وتجهيزات باستطاعات عالية.

لكن استخدام هذا النوع من التوتر قد يسبب بعض المشاكل الفنية باعتبار أن بعض التجهيزات المساعدة تعمل على توترات أقل من 660 V ، وهذا يتطلب استخدام محولات خاصة لتأمين هذا التوتر. اختيار التوتر 400 V أو 660 V ينبغي أن يتم من خلال مقارنة فنية اقتصادية .

5-5-1- مجال استخدام التوترات الاسمية :

المنشآت الصناعية ذات الاستطاعة العالية يمكن أن تغذى بتوتر (20 – 230 Kv)، أما المنشآت الصناعية ذات الاستطاعة المتوسطة فيمكن أن تغذى بتوتر 20Kv كورش الصهر، والتوتر 11Kv تستخدم في المنشآت الصناعية ذات الأحمال الصغيرة. إن اختيار التوتر يعتمد على عاملين أساسيين هما الاستطاعة المركبة في المنشأة، وبعد المنشأة عن منبع التغذية أي بتعبير $U_n=f(P_n, L)$ ، وهذه العلاقة يعبر عنها إما من خلال علاقات تجريبية معتمدة في العديد من البلدان أو من خلال منحنيات بيانية ..

المعادلات التجريبية التالية:

أ- معادلة ستيل :

$$U_n = 4.34\sqrt{L(km) + 0.016 \cdot P(Kw)},[kv] \qquad (5-16)$$

وذلك من أجل $L < 250$ km و $p < 60$ Mw

ب- معادلة زالسكي :

بجمع هاتين المعادلتين نحصل على :

$$\sum\left(P\cdot r_o\cdot l/x_o+P\cdot x_o\cdot l/r_o\right)=\left(\frac{r_o}{x_o}+\frac{x_o}{r_o}\right)\sum P\cdot l=0$$

$$\Rightarrow \sum P\cdot l=0$$

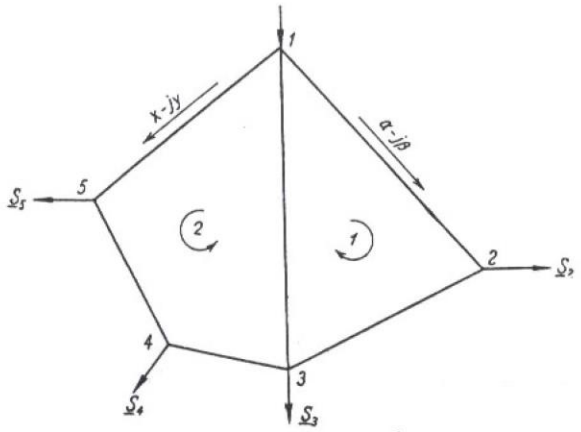
بنفس الطريقة السابقة نقسم المعادلة الأولى على r_o ،والمعادلة الثانية على x_o نحصل على :

$$\sum Q\cdot l=0$$

الحصول على هاتين المعادلتين : $\sum P\cdot l=0$ ، $\sum Q\cdot l=0$ يبين لنا أنه لأجل الشبكات وحيدة المقطع ،يمكن الحصول على سريان الاستطاعة الفعلية والردية في أجزاء الشبكة كل على حدة انطلاقاً من أطوالها وليس من خلال ممانعاتها .

5-5- تحديد توتر شبكات التغذية للمنشآت الصناعية :

التوتر الاسمي بالتعريف هو التوتر الذي يسمح بعمل التجهيزات الكهربائية بشكل طبيعي ولأطول فترة زمنية ممكنة أو خلال العمر الفني للتجهيزات. وكما هو معلوم فإن نظام العمل الطبيعي مقترن بالتوتر المقدم للجهاز، وأنظمة التوتر تتغير بشكل بطيء ،ويتميز عمل الأجهزة الكهربائية عند توترات مختلفة عن قيمته الاسمية بتغير المؤشرات الفنية والاقتصادية ،فعند عمل المصابيح المتوهجة بانحراف قدره +10% فإن التدفق الضوئي يزداد ،وبالتالي شدة الإضاءة عند مستوى العمل تزداد بنسبة +40% ،إلا أنه ف هذه الحالة ينقص عمر المصابيح بحوالي ثلاث مرات . أما عند العمل بانحراف قدره – 10% فإن عمر المصابيح يزداد بمقدار مرتين تقريباً على حساب انخفاض التدفق الضوئي وشدة الإضاءة عند مستوى العمل وهذا يؤثر على سوية الإنتاج . كما يعتمد عزم دورن المحركات الكهربائية التحريضية وكذلك انزلاقها على التوتر بين مرابطها . فعند انخفاض التوتر بمقدار 10 % عن التوتر الاسمي فإن إنتاجية الآليات المرتبطة مع هذه المحركات سوف تتناقص . كما أن ازدياد التوتر على طرفي المحرك يؤدي إلى زيادة الاستطاعة الردية المستهلكة بمقدار 3% أو أكثر (على حساب زيادة تيار العمل على فراغ) . وفي حالة انخفاض التوتر على طرفي المحرك عند نفس الاستطاعة المستجرة هذا يؤدي إلى زيادة في قيمة التيار المستجر ، في هذه الحالة تتعرض عازلية المحرك إلى سخونة أكبر



الشكل (3.5) شبكة كهربائية مغلقة

الاستطاعة السارية في أفرع الشبكة يعبر عنها من خلال المجاهيل α,β,X,Y، بالإضافة لقيم استطاعة الأحمال . بعد ذلك نختار اتجاه دوران في الحلقة الأولى باتجاه عقارب الساعة وفي الحلقة الثانية عكس عقارب الساعة، بعد ذلك نشكل لكل حلقة معادلتين من الشكل (4.5)و(5.5)، إذا كان اتجاه الدوران متطابق مع جهة سريان الاستطاعة عندئذ حاصل ضرب الاستطاعة السارية في الجزء المدروس مع ممانعته يأخذ إشارة موجبة ،وعند العكس يأخذ إشارة سالبة . إيجاد قيم المجاهيل يمكننا من إيجاد سريان الاستطاعة بدون حساب الضياع .في الشبكات الكهربائية ذات الطبيعة الواحدة (وحيدة المقطع) والتي تكون فيها النسبة $\frac{r_o}{x_o}$ لأجل 1km واحدة بالنسبة لجميع أجزاء الشبكة الكهربائية ،معادلات الحلقات يمكن أن تكتب بالشكل التالي:

$$\sum\left(P \cdot r_o \cdot l + Q \cdot x_o \cdot l\right) = 0$$
$$\sum\left(P \cdot x_o \cdot l - Q \cdot r_o \cdot l\right) = 0$$

حيث إن : l– طول الجزء من الشبكة ،[km] ؛

r_o ,x_o – الممانعة الردية والمقاومة الفعلية لأجل 1km من الخط .

إذا قسمنا المعادلة الأولى على الحد x_o والثانية على r_o نحصل على :

$$\sum\left(P \cdot r_o \cdot l / x_o + Q \cdot l\right) = 0$$
$$\sum\left(P \cdot x_o \cdot l / r_o - Q \cdot l\right) = 0$$

قانون كيرشوف الأول (تيارات العقد)، أما في الشبكات الحلقية نعتمد على معادلات الحلقات وذلك بعد استبدال ممانعات الأفرع بأطوالها أي أن جميع الأجزاء لها نفس المقطع.

طريقة معادلات الحلقات لحساب سريان الاستطاعة التقريبي في أفرع الشبكة تتم على مرحلتين :

في المرحلة الأولى يتم حساب سريان الاستطاعة التقريبي في أفرع الشبكة ومن ثم يتم حساب التوتر في العقد . في المرحلة الثانية يتم حساب سريان الاستطاعة مع الأخذ بعين الاعتبار الضياع الحراري و الردي . أساس طريقة حساب سريان الاستطاعة يعتمد على تطبيق قانون كيرشوف الثاني الذي يمكن كتابته لأجل حلقة واحدة بالشكل التالي :

$$\sum \underline{I} \cdot \underline{Z} = 0$$

حيث إن :

$\underline{I}$ – التيار المار في أفرع الحلقة بالقيمة العقدية ؛

$\underline{Z}$ – الممانعة الكلية للجزء الذي يمر فيه التيار $\underline{I}$ بالقيمة العقدية .

إذا ضربنا حدي المعادلة السابقة بقيمة التوتر الوسطي ، العلاقة السابقة عندئذ يتم صياغتها من خلال الاستطاعة السارية في كل جزء وفق الشكل التالي :

$$\sum \underline{S} \cdot \underline{Z} = 0$$

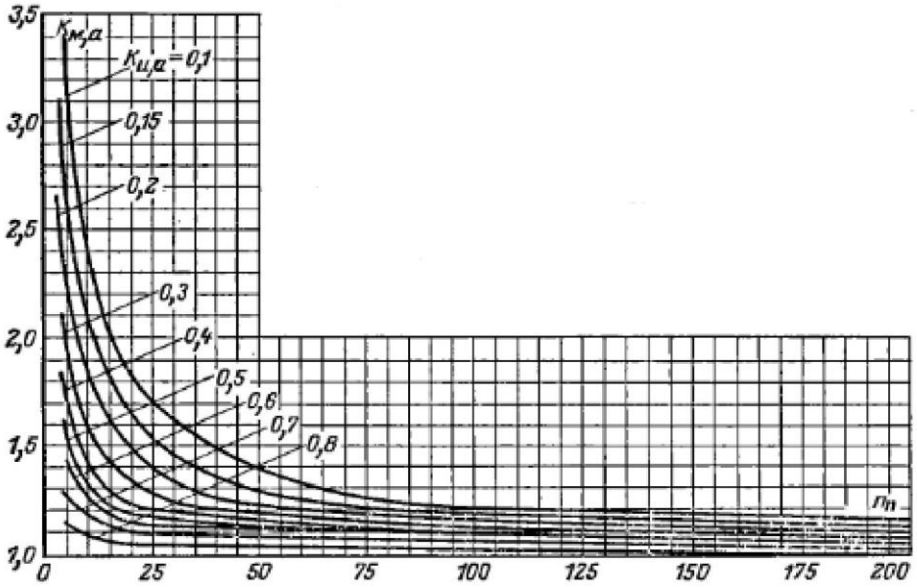
هذه العلاقة يمكن التعبير عنها من خلال مكونات كل جزء منها ،فتصبح بالشكل التالي:

$$\sum (P - jQ) \cdot (R + jX) = 0$$

من خلال بعض التغييرات يمكن استبدال المعادلة السابقة بمعادلتين ذات قيم حقيقية :

$$\left.\begin{aligned} \sum (P \cdot R + Q \cdot X) &= 0 \\ \sum (P \cdot X - Q \cdot R) &= 0 \end{aligned}\right\} \qquad (5\text{-}15)$$

على سبيل المثال لأجل شبكة كهربائية مغلقة مؤلفة من حلقتين كما في الشكل (3.5)، يمكن استخدام هاتين المعادلتين في إيجاد سريان الاستطاعة في هذه الشبكة. لحل هذه الشبكة يلزم وضع وحل أربع معادلات من الشكل (15–5) بأربع مجاهيل . نمثل الاستطاعة السارية في الخط 1–2 من خلال $\alpha - j\beta$ و الخط 1–5 من خلال $X - jY$. نختار اتجاه معين لسريان الاستطاعة في أفرع الشبكة ،وإذا تبين أن قيم الاستطاعة السارية سالبة ،هذا يعني أن الاتجاه المفروض خاطئ.



الشكل (2.5) منحنيات العامل الأعظمي عند قيم مختلفة لعامل الاستخدام
كتابع لعدد مستهلكي القدرة الفعال

بالنسبة لمجموعة الأحمال الكهربائية التي نظام عملها شبه ثابت (مضخات، مرواح، أجهزة تدفئة وغيرها)فإن الحمل الحسابي يؤخذ مساوٍ إلى الحمل الوسطي للوردية الأكثر تحميلاً :

$$P_P = P_{av} = K_m \cdot P_n \qquad (5-14)$$

إن إيجاد الأحمال الحسابية بواسطة العامل الأعظمي أدق من طريقة عامل الطلب، وهذا يفسره كون طريقة عامل الطلب الأعظمي تأخذ بالاعتبار أعداد المستهلكين للطاقة الكهربائية.

5-4- الحساب التقريبي لسريان الاستطاعة في أفرع الشبكة الكهربائية :

لأجل الحساب التقريبي لسريان الاستطاعة (بدون حساب الضياع) في أفرع الشبكة الكهربائية ينبغي أن نميز بين حالتين للشبكة الكهربائية شعاعية وحلقية، في الشبكات الشعاعية الاستطاعة السارية في الأفرع تساوي الاستطاعة المركبة في عقد الحمولة وفق

وهناك بعض الحالات الخاصة يمكن اعتمادها خلال عملية الحساب . إذا كان $n \succ 3, n_{eg} \prec 4$ فإن الحمل الحسابي الأعظمي يمكن اعتباره كأنه لمجموعة مستهلكين $n_{eg} = 4$ ، ولكن ليس أقل من مجموع الاستطاعات الاسمية لأكثر من ثلاثة مستهلكين. وعند $n_{eg} = 100$ وأية قيمة لعامل الاستخدام، وكذلك عند $K_u \geq 0.8$ وأية قيمة لـــ n_{eg} عند ذلك يسمح باعتبار الحمل الحسابي مساوياً للحمل الوسطي أي أن $K_m = 1$.

الجدول(5-2) علاقة العامل الأعظمي بالعدد الفعال لمستهلكي الطاقة الكهربائية عند قيم مختلفة لعامل الاستخدام.

n	K_u من أجل K_m								
	0.1	0.15	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
4	3.43	3.11	2.64	2.14	1.87	1.65	1.46	1.29	1.14
5	3.23	2.87	2.42	2.0	1.76	1.57	1.41	1.26	1.12
6	3.04	2.64	2.24	1.88	1.66	1.51	1.37	1.23	1.10
7	2.88	2.48	2.10	1.80	1.58	1.45	1.33	1.21	1.09
8	2.72	2.31	1.99	1.72	1.52	1.40	1.30	1.20	1.08
9	2.56	2.20	1.90	1.65	1.47	1.37	1.28	1.18	1.08
10	2.42	2.10	1.84	1.60	1.43	1.34	1.26	1.16	1.07
12	2.24	1.96	1.75	1.52	1.36	1.28	1.23	1.15	1.07
14	2.10	1.85	1.67	1.45	1.32	1.25	1.20	1.13	1.07
16	1.99	1.77	1.61	1.41	1.28	1.23	1.18	1.12	1.07
18	1.91	1.70	1.55	1.37	1.26	1.21	1.16	1.11	1.06
20	1.84	1.65	1.50	1.34	1.24	1.20	1.15	1.11	1.06
25	1.71	1.55	1.40	1.28	1.21	1.17	1.14	1.10	1.06
30	1.62	1.46	1.34	1.24	1.19	1.16	1.13	1.10	1.05
35	1.56	1.41	1.30	1.21	1.17	1.15	1.12	1.09	1.05
40	1.50	1.37	1.27	1.19	1.15	1.13	1.12	1.09	1.05
45	1.45	1.33	1.25	1.17	1.14	1.12	1.11	1.08	1.04
50	1.40	1.30	1.23	1.16	1.13	1.11	1.10	1.08	1.04
60	1.32	1.25	1.19	1.14	1.12	1.11	1.09	1.07	1.03
70	1.27	1.22	1.17	1.12	1.10	1.10	1.09	1.06	1.03
80	1.25	1.20	1.15	1.11	1.10	1.10	1.08	1.06	1.03
90	1.23	1.18	1.13	1.10	1.09	1.09	1.08	1.05	1.02
100	1.21	1.17	1.12	1.10	1.08	1.08	1.07	1.05	1.02
120	1.19	1.16	1.12	1.09	1.07	1.07	1.07	1.05	1.02
140	1.17	1.15	1.11	1.08	1.06	1.06	1.06	1.05	1.02
160	1.16	1.13	1.10	1.08	1.05	1.05	1.05	1.04	1.02
180	1.16	1.12	1.10	1.08	1.05	1.05	1.05	1.04	1.01
200	1.15	1.12	1.09	1.07	1.05	1.05	1.05	1.04	1.01

$$P'_{c.bas} = 0.9 \cdot P_{c.bas} = 0.9 \cdot 152.2 = 136.9$$
$$Q'_{c.bas} = 0.9 \cdot Q_{c.bas} = 0.9 \cdot 123.1 = 110.7K \text{ var}$$
$$S'_{c.bas} = 0.9 \cdot S_{c.bas} = 0.9 \cdot 195.6 = 176KV.A$$
$$I'_{c.bas} = \frac{S'_{c.bas}}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{176 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 267.4\ A$$

5-3- إيجاد الأحمال الحسابية بطريقة العامل الأعظمي :

العامل الأعظمي كما تم تعريفه بأنه علاقة الاستطاعة الفعلية الحسابية الأعظمية (خلال ثلاثين دقيقة) إلى الاستطاعة الفعلية الوسطية لأكثر الورديات تحميلاً ، وبالتالي فإن تحديد الأحمال الحسابية لمجموعة من المستهلكين من خلال العامل الأعظمي يتم وفق الآلية التالية:

تصنف كل الأحمال الكهربائية الموصولة بشبكة التغذية إلى مجموعات متساوية بعوامل الاستطاعة ومن ثم نحسب الاستطاعة الاسمية العظمى في كل مجموعة منسوبة إلى فترة عمل واحدة، بعد ذلك نحسب الاستطاعة المركبة لكل المستهلكين. ومن خلال الجدول (5-1) نعطي لكل مجموعة من المستهلكين المتشابهين بنظام العمل عامل استخدام، ومن خلاله نحدد الحمل الفعلي والردي الوسطيين لكل مجموعة من المستهلكين على أساس أكثر وردية تحميلاً: $P_{av} = K_u \cdot P_n$, $Q_{av} = P_{av} \cdot tg\varphi$. أما ما يخص الشبكة المغذية فإن الاستطاعات الفعلية والردية تجمع حسب مجموعات المستهلكين :

$$Q_{av.bas} = \sum Q_{av}, P_{av.bas} = \sum P_{av}$$

بعد ذلك نحسب عامل لاستخدام الوسطي : $K_{u.av} = \frac{\sum P_{av}}{\sum P_n}$ ، والعامل الوسطي للاستطاعة $\cos\varphi_{av}$، وبعدئذٍ نوجد المكافئ لمستهلكي الطاقة الكهربائية n_{eg} المحدد بالعلاقة التالية : $n_{eg} = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} P_{n.i}\right]^2}{\sum_{i=1}^{n} P_{n.i}^2}$ أي العدد المكافئ لمستهلكي الطاقة الكهربائية هو علاقة مربع مجموع الاستطاعة الاسمية للمستهلكين إلى محصلة مربع الاستطاعة الاسمية. ومن خلال عامل الاستخدام والعدد المكافئ يمكن إيجاد العامل الأعظمي إما من خلال المنحني البياني المبين بالشكل(2.5) أو الجدول (5-2) . وبدلالته نوجد الاستطاعة الحسابية الأعظمية :

$$P_P = P_{p.\max} = K_m \cdot \sum P_{av}, \quad Q_p = Q_{p.\max} = P_p \cdot tg\varphi$$

اللوحة C : $P_{n.C} = 10 \cdot 5 \cdot \sqrt{0.25} = 25Kw$.

لشبكة الثانية: اللوحة D: $P_{n.D} = 10 \cdot 6 = 60Kw$ ،اللوحةE:

$P_{n.E} = 7 \cdot 5.6 = 38.5\ Kw$ ،اللوحةF : $P_{n.F} = 15 \cdot 4 = 60\ Kw$.

نوجد عامل الطلب وعامل الاستطاعة لكل مجموعة من المستهلكين من الجدول(5-1)، ومنه نوجد الاستطاعة الفعلية والردية الحسابية من خلال المعادلة التالية :

$$P_c = K_c \cdot P_n, \quad Q_c = P_c \cdot tg\varphi$$

بعدئذٍ نوجد محصلة الاستطاعة الفعلية والردية الحسابية لكل مجموعة من المستهلكين المتشابهين في الشبكة الأولى:

$$P_{c.1} = P_{c.A} + P_{c.B+C} = 15.5 + 15.9 = 31.4Kw$$

$$Q_{c.1} = Q_{c.A} + Q_{c.B+C} = 27 + 27.5 = 54.5Kw$$

الاستطاعة الظاهرية المقدمة من خلال الشبكة الأولى:

$$S_{c.1} = \sqrt{P_{c.1}^2 + Q_{c.1}^2} = \sqrt{31.4^2 + 54.5^2} = 63.1KV.A$$

$$\cos\varphi_c = \frac{P_{c.1}}{Q_{c.1}} = \frac{31.4}{63.1} = 0.5$$

وبالتالي عامل الاستطاعة الحسابي:

التيار الحسابي المار في الشبكة الأولى:

$$I_{c.} = \frac{P_{c.1} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_c} = \frac{31.4 \cdot 10^3}{1.73 \cdot 380 \cdot 0.5} = 95.8\ A$$

وبشكل مشابه نوجد القيم الحسابية للشبكة الثانية، ومنه نحسب الحمل الحسابي على قضبان تجميع منبع التغذية :

$$P_{c.bas} = P_{c.1} + P_{c.2} = 31.4 + 120.8 = 152Kw$$

$$Q_{c.bas} = Q_{c.1} + Q_{c.2} = 54.5 + 86.6 = 123K\ \text{var}$$

$$S_{c.bas} = \sqrt{P_{bas}^2 + Q_{bas}^2} = \sqrt{152.2^2 + 123.1^2} = 195.6KV.A$$

$$\cos\varphi_{c.bas} = \frac{152.2}{195.6} = 0.78$$

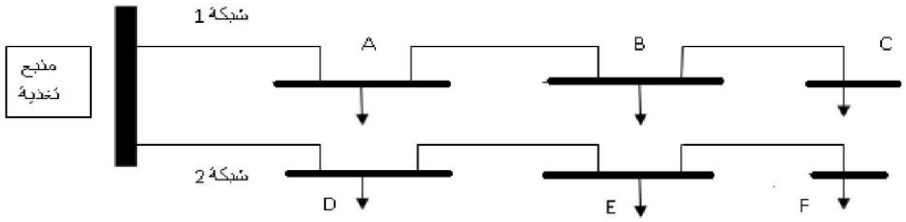
الحمل الحسابي على قضبان تجميع مركز التغذية بعد إدخال عامل التباين أو ما يدعى عامل عدم تطابق الأحمال الأعظمية لمختلف مجموعات المستهلكين بالزمن Ko= 0.9 :

مثال (5-1) :

احسب بطريقة عامل الطلب الأحمال الحسابية لمستهلكي الطاقة الكهربائية في كل فرع من فروع الشبكة المبينة بالشكل (1.5) . حيث تتغذى هذه الشبكة من مصدر للطاقة بتوتر 380 V . هذه الشبكة تغذي مجموعة من المستهلكين كما يلي:

الشبكة الأولى تغذي لوحات التوزيع A , B, C . اللوحة A تغذي الأحمال التالية:

- 12 مخرطة استطاعة الواحدة منها 1.5 Kw ؛
- 8 مخارط استطاعة الواحدة 3 Kw ؛
- 10 مخارط استطاعة الواحدة 5.5 Kw .



الشكل (1.5) شبكة تغذية

اللوحة B تغذي 6 روافع برجية استطاعة الواحدة منها 18.2 Kw ، وكل رافعة مزودة بثلاثة محركات كهربائية استطاعتهم على التوالي 2.2 Kw – 5 – 11 ، وبزمن استمرارية عمل tB = 0.25 .

اللوحة C تغذي 10 ضواغط هوائية استطاعة كل واحد 5Kw عند استمرارية عمل tB = 0.25.

الشبكة الثانية تغذي لوحات التوزيع التالية: F, E, D اللوحة D تغذي 10 أفران كهربائية استطاعة الفرن الواحد 6Kw. اللوحة E تغذي 7مضخات استطاعة الواحدة 5.5Kw . اللوحة F تغذي 15 مروحة استطاعة الواحدة 4Kw.

الحل :

في البداية نوجد محصلة الاستطاعة الفعاية الاسمية حسب مجموعات المستهلكين .

الشبكة الأولى – اللوحة A : $P_{n.A} = 12 \cdot 1.5 + 8 \cdot 3 + 10 \cdot 5.5 = 97 Kw$

اللوحة B : $P_{n.B} = 18.2 \cdot 6 \cdot \sqrt{0.25} = 54.6 Kw$.

عند إيجاد الحمل الحسابي على الشبكة المغذية أو على قضبان التجميع 0.4Kv لمحطة التوزيع والمغذية لمجموعة من المستهلكين المختلفين بأنظمة عملهم من الضروري إدخال عامل التباين الذي يأخذ بعين الاعتبار عدم تطابق الحمل الأعظمي بالزمن لمجموعات المستهلكين. لذلك تحسب الاستطاعة الحسابية للشبكة المغذية أو لقضبان التجميع على اساس عامل المشاركة في الحمل الأعظمي Ko الذي تقع قيمته في المجال (0.95 – 0.7).

$$P_{c.st} = K_o \cdot P_c$$
$$Q_{c.st} = K_o \cdot Q_c$$
$$S_{c.st} = K_o \cdot \sqrt{P_c^2 + Q_c^2} \qquad (5-13)$$

هنا Sc.st, Qc.st, Pc.st – الاستطاعات الفعلية والردية والظاهرية الحسابية لمركز التحويل.

تحسب قيم عوامل الطلب وعوامل الاستطاعة لأجل مجموعات مختلفة من مستهلكي الطاقة الكهربائية ولمختلف النواحي الصناعية عن طريق تحليل وفحص المنشآت العاملة خلال فترة زمنية طويلة، والجدول (5–1) يبين لنا عوامل الطلب وعوامل الاستطاعة وعوامل الاستخدام لبعض التجهيزات والمعدات المستخدمة في المنشآت الصناعية.

الجدول(5–1)

طبيعة التجهيزات الكهربائية	العوامل المميزة		
	K_u	K_c	cosφ
آلات قطع المعادن وآلات الجلخ وغيرها	0.14 – 0.12	0.16	0.5
المراوح ، المصاعد، المضخات، الضواغط، المولدات التي تديرها محركات الديزل	0.7	0.8	0.8
الروافع الكهربائية	0.1	0.2	0.5
محولات اللحام	0.25	0.35	0.35
الأفران الكهربائية وأجهزة التسخين والتنشيف	0.75	0.8	1- 0.95

$$P_{c\Sigma} = K_c \cdot \sum_{i=1}^{n} P_{n.i} \qquad (5-7)$$

لأجل إيجاد الاستطاعة الحسابية بشكل صحيح لمجموعة كبيرة من مستهلكي الطاقة الكهربائية مختلفين بنظام العمل ومربوطين إلى شبكة تغذية واحدة يتم تقسيمهم إلى مجموعات منفصلة على مبدأ أنظمة العمل الواحدة ولأجل كل مجموعة نجد الاستطاعة الحسابية العظمى.

محصلة الاستطاعات الفعلية الحسابية لكل مجموعات المستهلكين تتحدد من خلال العلاقة التالية:

$$P_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} P_{c.i} = \sum_{i=1}^{n} K_c \cdot P_{n.i} \qquad (5-8)$$

هنا n – عدد مجموعات مستهلكي الطاقة المتشابهين بنظام العمل .

بصورة مشابهة تحسب محصلة الاستطاعة الردية من خلال العلاقة التالية :

$$Q_{c\Sigma} = \sum_{i=1}^{n} Q_{c.i} = \sum_{i=1}^{n} K_c \cdot Q_{n.i} \qquad (5-9)$$

وبمعرفة الاستطاعة الحسابية للاستطاعة الفعلية والردية يمكن تحديد $tg\varphi_{av} = \frac{Q_c}{P_c}$ ، ومنه نحدد التيار الحسابي لنظام ثلاثي الطور:

$$I_c = \frac{\sqrt{P_c^2 + Q_c^2}}{\sqrt{3}U_n} = \frac{S_c}{\sqrt{3}U_n} = \frac{P_c}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos\varphi_{av}} \qquad (5-10)$$

وفي نظام ثنائي الطور :

$$I_c == \frac{S_c}{2 \cdot U_{ph}} = \frac{P_c}{2 \cdot U_{ph} \cdot \cos\varphi_{av}} \qquad (5-11)$$

وفي نظام أحادي الطور:

$$I_c == \frac{S_c}{U_{ph}} = \frac{P_c}{U_{ph} \cdot \cos\varphi_{av}} \qquad (5-12)$$

تحسب الاستطاعة الفعلية الاسمية لمجموعة من المستهلكين كمحصلة للاستطاعات الاسمية الجزئية التي تشكل الحمل الأساسي:

$$P_n = \sum_{i=1}^{n} P_{n.i} \qquad (5-3)$$

حيث إن : P_{ni} – الاستطاعة الفعلية الاسمية للمستهلك Kw, i ؛

N – عدد مستهلكي الطاقة في المجموعة المدروسة.

ونفس الشيء بالنسبة للاستطاعة الردية لمجموعة من الأحمال تعمل بشكل دوري متقطع:

$$Q_n = Q_{pas}\sqrt{t_B} \qquad (5-4)$$

لأجل مجموعة من الأحمال :

$$Q_n = \sum_{i=1}^{n} Q_{n.i} \qquad (5-5)$$

هنا Qn.i – الاستطاعة الردية الأسمية لمستهلك الاستطاعة الردية ، Kvar

الاستطاعة الحسابية التي يستهلكها المحرك الكهربائي من الشبكة في مكان الربط مع الشبكة التغذية أكبر من الاستطاعة الاسمة للمحرك بمقدار ضياع الاستطاعة ضمن المحرك، ويعبر عن ذلك من خلال عامل المردود وفق العلاقة التالية:

$$P_C = P_n + \Delta P = \frac{P_n}{\eta} \qquad (5-6)$$

حيث إن :

Pn – الاستطاعة الاسمية للمحرك،

ΔP – ضياع الاستطاعة في المحرك ،

η – مردود المحرك .

بالنسبة للأفران الكهربائية، وأجهزة التسخين ومصابيح التوهج فإن الاستطاعة الاسمية تساوي إلى الاستطاعة الحسابية :

$$P_c = P_n, \quad K_c = 1$$

أما بالنسبة لمجموعة من المستهلكين تحوي أكثر من ثلاثة أحمال تتشابه بنظام العمل فإن الاستطاعة الحسابية تتحدد بالعلاقة التالية:

الحسابات الفنية – الاقتصادية عند تصميم وإنشاء
شبكات التغذية للمنشآت الصناعية

5-1- مقدمة :

يقصد بالحسابات الكهربائية حساب مقاطع النواقل وعيار القواطع الآلية والفواصم الحرارية المنصهرة. العنصر الأساسي هو معرفة الحمولة الحسابية انطلاقاً من الحمولة المركبة واستخدام عوامل تصحيح مثل عوامل الاستخدام والطلب والتباين وغيرها.

عند تصميم شبكات التغذية للمنشآت الصناعية يلعب تحديد الأحمال دوراً هاماً في العملية التصميمية فإذا بنيت الدراسة على أساس أحمال كبيرة فهذا يستدعي مقاطع كبيرة للنواقل، وبالتالي كلفة زائدة ناتجة عن استهلاك كبير في المعدن، وإذا تمت الدراسة على أحمال صغيرة فإن المقاطع المناسبة لها ستتسبب بضياعات كبيرة في القدرة ، وبالنتيجة كلفة إضافية لتغطية هذه الضياعات. من هنا عند التصميم الأمثل يجب أن يراعى الكلفة الدنيا لاستهلاك معدن الناقل والكلفة الدنيا للضياعات أي بمعنى آخر أن تكون الكلفة الإنشائية والاستثمارية في حدودها الدنيا.

5-2- تحديد الأحمال الحسابية بطريقة عامل الطلب :

عامل الطلب كما أسلفنا في فقرة سابقة هو العلاقة التي تربط بين الاستطاعة الفعلية الحسابية العظمى لمجموعة أحمال إلى مجموع الاستطاعة الاسمية :

$$K_c = \frac{P_p}{P_n} \qquad (5-1)$$

الاستطاعة الاسمية تمثل استطاعة المستهلك المدونة على لوحة المصنع أو الكاتلوك المرفق . تطابق الاستطاعة الاسمية في المحركات الكهربائية على محاور تلك المحركات عند الحمل والتوتر الاسميين . أما بالنسبة للمستهلك الذي يعمل بشكل دوري ومتقطع فإنه يشار إلى الاستطاعة الاسمية Ppas ، والفترة الزمنية tB (استمرارية العمل) للمحركات التي تعمل بشكل متقطع :

$$P_n = P_{pas} \cdot \sqrt{t_B} \qquad (5-2)$$

$$P_{pas} = S_{pas} \cdot \cos\varphi_{pas}$$